



# LES/WOOD

## VSEBINA / CONTENTS

Letnik 67, številka 2 / Volume 67, Number 2

• <b>Uvodnik</b> .....	<b>3</b>
<b>Editorial</b> Katarina Čufar, Jože Kropivšek	
• <b>Dendrochronology of sessile oak (<i>Quercus petraea</i>) on the transition between the sub-Mediterranean and temperate Continental climatic zones in Slovenia</b> ....	<b>5</b>
<b>Dendrokronologija hrasta gradna (<i>Quercus petraea</i>) na prehodu med submediteranskim in zmernim celinskim podnebjem v Sloveniji</b> Jaša Saražin, Giulia Antonia Resente, Angela Balzano, Martin de Luis, Maks Merela, Katarina Čufar	
• <b>The anatomy of »blue ring« in the wood of <i>Pinus nigra</i></b> .....	<b>21</b>
<b>Anatomija »modre branike« v lesu črnega bora <i>Pinus nigra</i></b> Alan Crivellaro, Marco Reverenna, Flavio Ruffinatto, Carlo Urbinati, Alma Piermattei	
• <b>Tehnološke lastnosti in uporabnost lesa velikega pajesena v primerjavi z lesom velikega jesena</b> .....	<b>29</b>
<b>Technological properties and usability of Chinese sumac wood in comparison with ash wood</b> Željko Gorišek, Denis Plavčak, Aleš Straže, Maks Merela	
• <b>Kakovost lepilnega spoja med lesom in jeklom</b> .....	<b>45</b>
<b>The quality of adhesive bond between wood and steel</b> Jaša Saražin, Milan Šernek	
• <b>Križno lamelirani les – lastnosti in zahteve</b> .....	<b>53</b>
<b>Cross-laminated timber – Characteristics and requirements</b> Bogdan Šega, Milan Šernek	
• <b>Konceptualni model digitalizacije izobraževanja: Primer visokošolskega izobraževanja v lesarstvu v Sloveniji</b> .....	<b>63</b>
<b>Conceptual model of digitalization of education: The example of higher education in the wood sector in Slovenia</b> Jože Kropivšek	
<b>Novice</b>	
• <b>Les/Wood: Intervju prof. dr. Miha Humar</b> .....	<b>75</b>
Katarina Čufar	
• <b>Prof. dr. Marko Petrič - prejemnik Zlate plakete Univerze v Ljubljani</b> .....	<b>78</b>
Milan Šernek	
• <b>Franc Pohleven, prvi zaslužni profesor Univerze v Ljubljani s področja lesarstva</b> .....	<b>79</b>
Miha Humar	
• <b>Srečanje ALUMNI kluba Oddelka za lesarstvo v letu 2018</b> .....	<b>81</b>
Katarina Čufar, Boštjan Lesar	
• <b>J.u.A. Frischeis d.o.o. – podjetje s tradicijo in inovativnostjo</b> .....	<b>82</b>
Jožica Mir	
• <b>Prof. dr. Jože Resnik - zaslužni profesor Univerze v Ljubljani</b> .....	<b>83</b>
Milan Šernek	

# Les/Wood

## **Izdajatelj/Publisher**

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

## **Glavna urednica/Editor-in-chief**

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

## **Odgovorni urednik/Managing editor**

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

## **Tehnični urednik/Technical editor**

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

## **Uredniški odbor/Editorial board**

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

## **Jezikovni pregled/Proofreading**

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

## **Oblikovanje/Design**

Andrej Bajt

## **Tisk/Print**

Tiskarna Roboplast d. o. o., Ljubljana  
Natisnjeno v novembru 2018 v 100 izvodih./*Printed in November 2018 in 100 copies.*

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

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

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

## **Periodičnost/Frequency**

Dve številki letno/Two issues per year

**Les/Wood je referiran v mednarodnih bibliografskih zbirkah**

***Les/Wood is indexed in the international bibliographic databases***

AGRIS, CAB Abstract

Avtorske pravice objavljenih člankov si pridržuje založnik Les/Wood

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





# LES/WOOD

## UVODNIK / EDITORIAL

Za uredništvo / For the editorial board  
Katarina Čufar, Jože Kropivšek

---

### Drage bralke in bralci revije Les / Wood

Pred vami je druga številka revije v letu 2018. Z njo beležimo dve leti rednega ponovnega izhajanja. Številka prinaša pet znanstvenih in en pregledni članek. Članki pokrivajo tematike s področij anatomije, dendrokronologije, lastnosti lesa, lepljenja lesa in kompozitov ter vprašanj digitalizacije procesov.

Pri dveh člankih je prvi avtor Jaša Saražin, ki deluje kot raziskovalec na začetku kariere in doktorski študent na Oddelku za lesarstvo. V članku o dendrokronologiji hrasta na prehodu med submediteranskim in zmernim celinskim podnebjem sta sodelovali tudi dve raziskovalki na začetku kariere, ki v reviji Les objavljata prvič: dr. Angela Balzano, raziskovalka na Oddelku za lesarstvo (OL), in Giulia Resente, ki je magistrirala na Univerzi v Padovi in delovala na OL na mednarodni praksi. Omenjeni članek je njena prva objava v znanstveni reviji, za kar ji iskreno čestitamo. V drugem članku pa Jaša Saražin skupaj z Milanom Šernekom predstavlja kakovost lepilnega spoja med lesom in jeklom.

Alan Crivellaro z Univerze v Padovi s soavtorji predstavlja nove izsledke na področju anatomije lesa in prepoznavanja anomalnih struktur. Članek predstavlja, kako pomanjkljivo lignificirana »modra branika« beleži vplive okoljskih sprememb in vpliva na kakovost lesa. Soavtorji so uveljavljeni znanstveniki z univerz v Italiji in z Univerze Cambridge, Marco Reverenna pa tokrat objavlja svoj prvi znanstveni članek, za kar mu iskreno čestitamo.

Željko Gorišek s soavtorji celovito predstavlja manj znano tujerodno in deloma invazivno lesno vrsto veliki pajesen, ki so jo raziskali v okviru projekta APPLAUSE. Jože Kropivšek je osvetlil konceptualni model digitalizacije visokošolskega izobraževanja, ki odgovarja na hiter razvoj digitalne družbe in implementacijo kon-

cepta Industrija 4.0 v predelovalno industrijo. Bogdan Šega in Milan Šernek pa sta pripravila pregledni članek o križno lameliranem lesu.

V tej številki predstavljamo tudi nekaj izbranih novic na področju lesarstva, ki jih je vredno posebej omeniti. Ob zaključku mandata dekana Biotehniške fakultete (BF) smo pripravili intervju s prof. dr. Miho Humarjem. Posebej predstavljamo prof. dr. Franca Pohlevna, ki je v letu 2017 prejel naziv zaslužni profesor Univerze v Ljubljani. Poročamo tudi o srečanju ALUMNI kluba Oddelka za lesarstvo v letu 2018, Jožica Mir pa predstavlja podjetje J.u.A. Frischeis d.o.o., ki je med drugim sodelovalo na srečanju kot sponzor. Objavljamo tudi dve kratki novici, ki smo ju prejeli po zaključeni redakciji: prof. dr. Marko Petrič je prejel zlato plaketo Univerze v Ljubljani, prof. dr. Jože Resnik pa je postal zaslužni profesor.

V tokratni številki revije Les/Wood so štirje članki napisani v slovenskem jeziku, dva pa v angleščini. S tem sledimo začrtani poti revije, saj z objavljanjem v slovenskem jeziku skrbimo za razvoj naše strokovne terminologije, naslavljamo domačo publiko in študente na začetku študija. S članki v angleškem jeziku nagovarjamo mednarodno znanstveno in strokovno javnost. Tako lokalno, še posebej pa mednarodno odmevnost prispevki dobijo šele z dostopnostjo in/ali indeksacijo v različnih bibliografskih bazah. Revijo Les / Wood že indeksira baza CAB Abstracts, od leta 2017 pa so vsi članki opremljeni z DOI (Digital Object Identifier) klasifikatorjem, ki med drugim omogoča sledljivost članka na svetovnem spletu. Članki so referirani v osebnih bibliografijah v uradnih bazah COBISS in SICRIS, avtorji pa poskrbijo, da so dosegljivi tudi preko priljubljenih baz, kot so Research Gate in Google Učenjak. Za povečanje vid-

nosti trenutno pripravljamo indeksacijo v bazi DOAJ (Directory of Open Access Journals). Upamo, da bodo tej sledile vključitve še v druge, za odmevnost in vidnost kakovostnih člankov pomembne baze (npr. Scopus).

Uredniki se iskreno zahvaljujemo vsem avtorjem, da so prepoznali pomen objavljanja v reviji *Les / Wood*. Posebej se zahvaljujemo tudi recenzentom člankov, ki so delo opravili strokovno in etično, vestno in hitro. Zahvaljujemo se tudi lektorici za slovenski in lektorju za angleški jezik, INDOK službi na OL ter tehničnemu uredniku za njihovo vestno in strokovno delo ter vodstvu OL za vsestransko podporo. Vsem hvala lepa!

Za dobro delo revije v prihodnosti še naprej potrebujemo kakovostne članke in zveste bralce, zato vas ponovno vabimo k pripravi in objavi rezultatov vaših raziskav ter k vsestranskemu sodelovanju pri oblikovanju in razvoju revije.

### Dear readers of *Les / Wood*,

We present the second issue of *Les / Wood* in 2018. It contains one review and five scientific articles. The topics of the articles are related to wood anatomy, dendrochronology, wood properties, gluing of wood and composites, as well as questions of digitalization of education.

The first author of two articles is Jaša Saražin, an early career researcher and doctoral student at the Department of Wood Science and Technology, Biotechnical Faculty, University of Ljubljana (DWST). His first article on the dendrochronology of oak in the transition between the sub-Mediterranean and temperate continental climatic zones in Slovenia, is co-authored by two early stage researchers who are publishing in *Les / Wood* for the first time. Dr. Angela Balzano works at the DWST as a researcher, while Giulia Resente, who received her master's degree at the University of Padua, worked at the DWST in the framework of an international praxis. For Giulia Resente this is the first publication in a scientific journal. Congratulations. In another article, Jaša Saražin and Milan Šernek present the quality of the adhesive bonding between wood and steel.

Alan Crivellaro from the University of Padua and co-authors present new findings in the field of wood anatomy and special wood structures. Their article presents how »blue rings« record the lack of lignification due to the effects of environmental change and how

this affects wood quality. For Marco Reverenna, this is also the first scientific article that has been published. Congratulations. The other co-authors are experienced scientists from various universities in Italy and from Cambridge University.

Željko Gorišek and his co-authors present the less-known non-native and partially invasive wood species *Ailanthus altissima* studied in the framework of the APPLAUSE project. Bogdan Šega and Milan Šernek prepared a review article on cross-laminated wood. Jože Kropivšek highlighted a conceptual model of the digitalization of education, exemplified by higher education in the wood sector in Slovenia. In this issue we also present news relevant in the field of the wood sector.

Four articles are written in Slovene and two in English. According to the objectives of the journal, the articles in Slovene help to maintain and develop the Slovenian professional terminology and communicate new findings to a Slovene audience. With articles in English, however, we intend to address the wider international scientific and professional audience. The visibility of the articles is assured through indexation in bibliographic databases. *Les / Wood* is indexed by the CAB Abstracts database, and since 2017 all the articles have a Digital Object Identifier (DOI), which, among other things, enables their visibility on the World Wide Web. The articles are also referred to in the personal bibliographies of the researchers in COBISS and SICRIS databases. Furthermore, the authors can make them available through databases such as ResearchGate and Google Scholar. To increase their visibility, we are preparing for indexation in the Open Access Journals (DOAJ) database. This will be hopefully followed by inclusion in other databases, such as SCOPUS.

The editors wish to thank all the authors for publishing in *Les / Wood*. We also gratefully acknowledge the referees who undertook their work professionally, ethically, quickly and with much care. We also thank the editors/proofreaders of the Slovene and English language, the INDOK - library service at the DWST, and the technical editor for their work. Last but not least, we thank the management of the DWST for great support. Many thanks!

For the future success of the journal we still need high-quality articles, loyal readers and dedicated reviewers. We thus invite you to publish and cooperate with us in the future.



## DENDROCHRONOLOGY OF SESSILE OAK (*QUERCUS PETRAEA*) ON THE TRANSITION BETWEEN THE SUB-MEDITERRANEAN AND TEMPERATE CONTINENTAL CLIMATIC ZONES IN SLOVENIA

### DENDROKRONOLOGIJA HRASTA GRADNA (*QUERCUS PETRAEA*) NA PREHODU MED SUBMEDITERANSKIM IN ZMERNIM CELINSKIM PODNEBJEM V SLOVENIJI

Jaša Saražin<sup>1</sup>, Giulia Antonia Resente<sup>2</sup>, Angela Balzano<sup>1</sup>, Martin de Luis<sup>3</sup>, Maks Merela<sup>1</sup>, Katarina Čufar<sup>1\*</sup>

UDK 630\*561.24

Izvleček / Abstract

Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

**Abstract:** A local tree-ring chronology of sessile oak (*Quercus petraea*) was constructed for the site Klanec pri Kozini (KLA), Slovenia (45.59° N, 13.92° E, 450 m a.s.l.) located on the Karst edge on the transition from the sub-Mediterranean climatic to temperate Continental zones. The chronology is 93 years long and covers the period 1925–2017. A comparison with four local oak chronologies from Slovenia and 38 from the surrounding countries (distance 65–220 km) showed that KLA agreed best with the local oak chronology of Rožnik, Ljubljana (ROZ), and two other oak chronologies from central Slovenia (the surroundings of Novo mesto and Ljubljana), one from Croatia and one from Austria. Dendroclimatological analysis showed that the main factor affecting tree-ring variation is June temperature (negative effect) and March precipitation (positive effect), which to a great extent explain the relation to other chronologies. The negative effect of June (maximal) temperature has become increasingly significant in the last few decades, which can be ascribed to warming related to ongoing climatic change.

**Keywords:** dendrochronology, tree-rings, oak = *Quercus* sp., Kozina, Slovenia, dendroclimatology, teleconnection, climate change

**Izvleček:** Sestavili smo lokalno kronologijo širin branik hrasta gradna (*Quercus petraea*) za rastišče Klanec pri Kozini (KLA) v Sloveniji (45,59°S, 13,92°E, 450 m n.m.), ki se nahaja na Kraškem robu na prehodu iz submediteranskega v zmerno celinski podnebni pas. Kronologija je dolga 93 let in pokriva obdobje 1925-2017. Primerjava s 4 lokalnimi hrastovimi kronologijami iz Slovenije in 38 iz okoliških držav, z rastišč, oddaljenih od 65 do 220 km, je pokazala, da se KLA najbolje ujema z lokalno kronologijo hrasta z Rožnika v Ljubljani (ROZ) in z dvema hrastovima kronologijama iz osrednje Slovenije, iz okolice Novega mesta in Ljubljane, ter po eno kronologijo iz Hrvaške in Avstrije. Dendroklimatološka analiza je pokazala, da sta glavna dejavnika, ki vplivata na variiranje širin branik, junijska (maksimalna) temperatura (negativni učinek) in padavine v marcu (pozitivni učinek), kar v veliki meri pojasnjuje tudi odnose do drugih kronologij. Negativni učinek junijske (maksimalne) temperature postaja vse bolj pomemben v zadnjih desetletjih, kar pripisujemo segrevanju ozračja zaradi podnebnih sprememb.

**Ključne besede:** dendrokronologija, širine branik, hrast = *Quercus* sp., Kozina, Slovenija, dendroklimatologija, telekonkacija, klimatske spremembe

## 1 INTRODUCTION

### 1 UVOD

Oak is an important wood in European dendrochronology (e.g., Haneca et al., 2009). It is mainly represented by sessile (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) and pedunculate oak (*Quercus robur* L.). The two species cannot be differentiated by wood anatomy, and therefore in historical dendrochronology (where the origin of wood is usually not exactly known) are often treated together as European oak (*Quercus* sp.) (e.g., Haneca et al., 2009). In Europe, numerous local and regional oak chronologies have

<sup>1</sup> Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, Slovenia

\* e-mail: [katarina.cufar@bf.uni-lj.si](mailto:katarina.cufar@bf.uni-lj.si)

<sup>2</sup> University of Padova, TESAF, Department of Land, Environment, Agriculture and Forestry, Via dell'Università 16, 35020 Legnaro, Padova, Italy

<sup>3</sup> University of Zaragoza, Department of Geography, Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza, Spain

been constructed, and many of them are multi-millennial (Baillie, 1995; Haneca et al., 2009; Prokop et al., 2017). The longest among them is the South German Hohenheim oak chronology, reaching back to 8480 BC (Friedrich et al., 2004).

Long regional chronologies have been successfully used to date the wood from the distant past and to explain numerous past events (e.g., Billamboz, 2003; Tegel et al., 2012; Rybníček et al., 2018). They have been used for reconstruction of the past climate and its effects on environment and cultural development (e.g., Tegel et al., 2010; Büntgen, et al., 2011; Cook et al., 2015; Dobrovlný et al., 2018).

As opposed to the various regional chronologies that have been composed, local chronologies of trees from known sites remain important to explore the ecology of oaks, and the relation of their tree-ring variations to climate and other factors (e.g., Friedrichs et al., 2009 a, b; Kolář et al., 2012; Stojanović et al., 2015; Nechita et al., 2017).

In Slovenia the first attempts with building oak chronologies were not encouraging, especially because of numerous sites where tree-ring variation is affected by micro-site conditions mainly related to ground water levels (Levanič, 1993; Čufar & Levanič, 1999; Čater & Levanič, 2004, 2015; Gričar et al., 2013; Jevšenak & Levanič, 2015) and not by supra regional climatic drivers.

The first longer chronology in Slovenia was a well-replicated 548-years long chronology covering the period A.D. 1456–2003 based on wood from living trees and historic constructions from SE Slovenia (Čufar et al., 2008 a, b). It proved to have a good teleconnection with various chronologies from sites up to 700 km away in Austria, Hungary, Serbia, Czech Republic and South Germany. Its tree-ring variation proved to be positively correlated with June precipitation and negatively with June temperature, and therefore could be used to reconstruct June conditions over the last five centuries (Čufar et al., 2008 b). It could also be included in the database used for the reconstruction of large droughts and pluvials during the last 2,000 years in Europe (Cook et al., 2015). Knowledge on the teleconnection of oak from Slovenia also helped to absolutely date the chronology of pile dwelling settlements from Ljubljansko barje, which spans the period of 3771–3330 BC by teleconnection with a combined German Swiss chronology (Čufar et al., 2015).

As the composed chronologies summarize the effects of different factors in trees from various sites, local effects can only be studied on networks of precisely known environments, as in an earlier study using 41 local chronologies from Austria, Croatia, Hungary, Serbia, and Slovenia (Čufar et al., 2014 a, b). In this work, all the chronologies showed a common positive response to precipitation in spring and summer (March and June) and a negative one to temperature in spring and summer (April and June), although it was also possible to show and explain the differences among them (Čufar et al., 2014 a, b).

Local studies and a better understanding of the variability of oak growth are needed to reveal how such trees store environmental information. This is important, among other reasons, when we attempt to fill the palaeoclimatic gaps and construct and prolong the regional chronologies which are needed to investigate the wood from the past (e.g., Wažny et al., 2014; Čufar et al., 2015).

Tree-ring investigations of oak in Slovenia with the aim of constructing chronologies for historical studies have mainly focused on central and southeast Slovenia with a temperate Continental climate, and identifying the teleconnection with oak from areas in the north, east and southeast of Slovenia. On the other hand, we lack such information for the oak from west and southwest Slovenia, at the transition from the temperate Continental to sub-Mediterranean climate, and on its relation to oak growth in Italy. Cooperation and exchange of data between Slovenian and Italian dendrochronological laboratories has already helped to clarify the relations among the chronologies of larch (*Larix decidua*) (Levanič et al., 2001), beech (*Fagus sylvatica*) (Di Filippo et al., 2007), and Norway spruce (*Picea abies*) (Bernabei et al., 2017) from the last millennium, as well as in relation to oak from prehistoric pile dwellings from the 4<sup>th</sup> millennium BC (Čufar & Martinelli, 2004). However, knowledge on the teleconnection of modern oak from Slovenia and Italy could not be clarified, due to a lack of an adequate network of oak chronologies.

This study therefore aimed to (1) construct a local chronology of sessile oak (*Quercus petraea*) for Klanec pri Kozini, on the Karst edge in SW Slovenia near the border with Italy, (2) to explore its teleconnection with available tree-ring chronologies in the surrounding areas, and (3) to show how climatic fac-



tors influence tree-ring variation in the transitional zone between the sub-Mediterranean and the temperate Continental climatic zones.

## 2 MATERIALS AND METHODS

### 2 MATERIAL IN METODE

#### 2.1 STUDY SITE AND TREES

##### 2.1 RASTIŠČE IN DREVESA

The sampling area Klanec pri Kozini (45.59°N, 13.92°E, 450 m a.s.l.) is located 15 km NE from Koper, on the Karst edge bordering the Slovenian Littoral. The distance (as the crow flies) to Trieste, Italy, is 10 km and to Ljubljana, Slovenia, 70 km (Table 1). The forest association is *Melampyro vulgaris-Quercetum petraeae* var. geogr. *Fraxinus ornus* (Puncer & Zupančič, 1979) on flysch bedrock type. Sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) is the dominant species on the site, which has shallow brown dystric soil. The deep root system here is oak's advantage compared to other tree species.

For analyses we selected nine dominant or co-dominant *Q. petraea* trees (height ca. 20 m and DBH (diameter at breast height) ca. 40 cm). The trees were felled during regular felling activities in winter 2017. We collected the discs from the stems at 5 m above the ground.

#### 2.2 DENDROCHRONOLOGICAL ANALYSIS

##### 2.2 DENDROKRONOLOŠKA ANALIZA

For dendrochronological investigations the wood was polished and the tree-ring widths measured along two representative radii, to the nearest 0.01 mm using the TSAP-Win program (Frank Rinn, Heidelberg, Germany) and the CDendro/Coorecorder image analysis program (Cybis Elektronik, 2010).

The tree-ring series were visually and statistically cross dated and compared with each other by calculating the t-values as proposed by Baillie and Pilcher ( $t_{BP}$ ) and Hollstein ( $t_H$ ) and sign test (Gleichläufigkeit - Glk) using TSAP-Win.

Cross-dated tree-ring series of individual trees were assembled into a chronology using the ARSTAN program (Holmes, 1994). We calculated two versions of ARSTAN chronologies: a non-detrended - raw-data and a detrended residual chronology.

#### 2.3 TREE RINGS AND CLIMATE

##### 2.3 ŠIRINE BRANIK IN KLIMA

The climatic influence on tree growth was studied using the residual version of the chronology. This chronology shows tree-ring indexes vs. time, for which the original tree-ring width series were standardized in a two-step procedure. First, the long-term trend was removed by fitting a negative exponential function (regression line) to each tree-ring series. Second, a more flexible detrending was made by applying a cubic smoothing spline with a 50% frequency response of 30 years to further reduce non-climatic variance. Subsequently, autoregressive modelling of the residuals and biweight robust estimation of the mean were applied (Cook & Peters, 1997).

As the local climatic data series was short and incomplete, we used the closest grid point from the monthly high-resolution grids of mean temperature and precipitation for the period 1901–2016, obtained from CRU TS 1.2, publicly available at <http://www.cru.uea.ac.uk/> (Mitchell et al., 2004), for dendroclimatic analysis. The database is constructed with a 10 min resolution for the whole of Europe, as well as some territories from the surrounding

Table 1. Site and source of climatic data for oak chronology for Klanec pri Kozini and Rožnik, Ljubljana used for comparison. ID\_CRU – identification code for CRU climatic data (<http://www.cru.uea.ac.uk/>).

Preglednica 1. Osnovni podatki o rastišču in klimatskih podatkih za rastišče Klanec pri Kozini in Rožnik, Ljubljana za primerjavo. ID\_CRU – identifikacijska šifra za klimatske podatke CRU (<http://www.cru.uea.ac.uk/>).

Location / Lokacija	Chronology / Kronologija	Altitude / Nadmorska višina m	Latitude / Zemljepisna širina °N	Longitude / Zemljepisna dolžina °E	ID_CRU
Klanec pri Kozini	KLA	450	45.59	13.92	195508
Rožnik, Ljubljana	ROZ	300	46.05	14.47	196229

areas; the dataset covers 11° W to 32° E longitude and 34° N to 72° N latitude.

The climatic data calculated from the representative CRU data (CRU ID 195508) for the period 1925-2013 show an annual sum of precipitation 1520 mm and the mean annual temperature 11.9 °C (Table 1, Figure 1 a). These CRU data correspond well with the data of the meteorological station Godnje (45.75° N, 13.85° E, 320 m a.s.l) of the Environmental Agency of the Republic of Slovenia (ARSO, 2018).

The climate/growth relationships were calculated using the program DendroClim2002 (Biondi & Waikul, 2004), whereby the residual version of the tree-ring chronology was the dependent variable and the regressors were the monthly mean, minimum and maximum temperatures and the monthly sums of precipitation for each biological year from the previous January to the current December over the time axis from 1925 to 2013 (a common period

of KLA and ROZ chronology). DendroClim2002 uses correlation and response functions, which are the most common statistical models used in dendrochronology. The term 'function' indicates a sequence of coefficients computed between the tree-ring chronology and the monthly climatic variables, which are ordered in time from the previous-year growing season to the current-year one. In 'correlation' functions the coefficients are univariate estimates of Pearson's product moment correlation, while in 'response' functions the coefficients are multivariate estimates from a principal component regression model (Biondi & Waikul, 2004). The program applies a bootstrap process according to Guiot (1991) to assess the statistical significance of the correlation and response function.

The stability in time of the climate/growth relationships was checked by moving the correlation function, calculated for 30-year time window, over the period from 1925 to 2013 (Biondi, 1997).

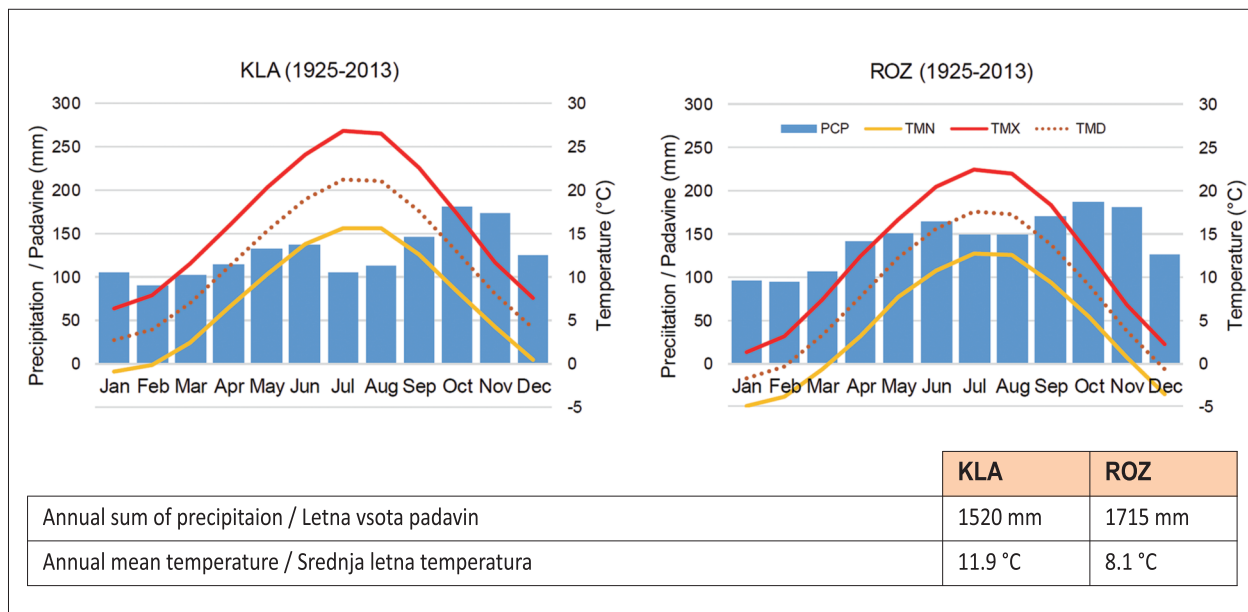


Figure 1. Climatic diagrams with monthly average temperatures (lines) and mean monthly sum of precipitation (blue bars), representative for the location of the chronologies Klanec pri Kozini (KLA) and Ljubljana Rožnik (ROZ), for the period 1925–2013, summed from CRU data (CRU ID 195508 for KLA and CRU ID 196229 for ROZ) (<http://www.cru.uea.ac.uk/>). PCP – monthly sum of precipitation, TMN - minimum temperature, TMX – maximum temperature, TMD – mean monthly temperature.

Slika 1. Klimograma, ki v stolpcih prikazujeta mesečna povprečja padavin, s črtami pa so prikazana temperaturna povprečja, reprezentativna za lokaciji Klanec pri Kozini (KLA) in Ljubljana Rožnik (ROZ) za obdobje 1925–2013, na osnovi CRU podatkov (CRU ID 195508 za KLA in CRU ID 196229 za ROZ) (<http://www.cru.uea.ac.uk/>). PCP – mesečna vsota padavin, TMN - minimalne, TMX – maksimalne in TMD – povprečne mesečne temperature.

## 2.4 TELECONNECTION AND HETEROCONNECTION

### 2.4 TELEKONEKCIJA IN HETEROKONEKCIJA

The residual chronology of oak for Klanec pri Kozini was also tested for teleconnection. For this purpose it was compared with oak chronologies from Slovenia, Austria, Hungary, Croatia and Serbia employed in the study of Čufar et al. (2014 a). As these chronologies mainly do not cover the most recent period, we also used a recently constructed but yet unpublished chronology of Rožnik, Ljubljana spanning the period 1830-2013. The comparisons were made by calculating the t-values and sign test (Gleichläufigkeit - Glk) using TSAP-Win.

In addition, the oak chronology of Klanec pri Kozini was tested for teleconnection with three unpublished oak chronologies from western Slovenia, and 13 oak chronologies from Italy (Bernabei, personal communication) and for heteroconnection (i.e. agreement with chronologies of other tree-spe-

cies from Slovenia) by using more than 15 tree-ring chronologies of beech (*Fagus sylvatica* L.) (Čufar et al., 2008 c and unpublished data).

## 3 RESULTS

### 3 REZULTATI

#### 3.1 THE CHRONOLOGY

##### OF KLANEC PRI KOZINI KLA

#### 3.1 PREDSTAVITEV KRONOLOGIJE KLANEC PRI KOZINI KLA

The constructed oak chronology of Klanec pri Kozini (KLA) is based on tree-ring data from nine trees (18 radii). The average tree-ring width is 1.87 mm (minimum 0.99, maximum 2.93). The tree-ring data cover the period 1922-2017, whereas the optimal replication with the expressed population signal (EPS  $\geq$  0.848) is achieved for the period 1925-2017 (length 93 years) (Figure 2, Table 2).

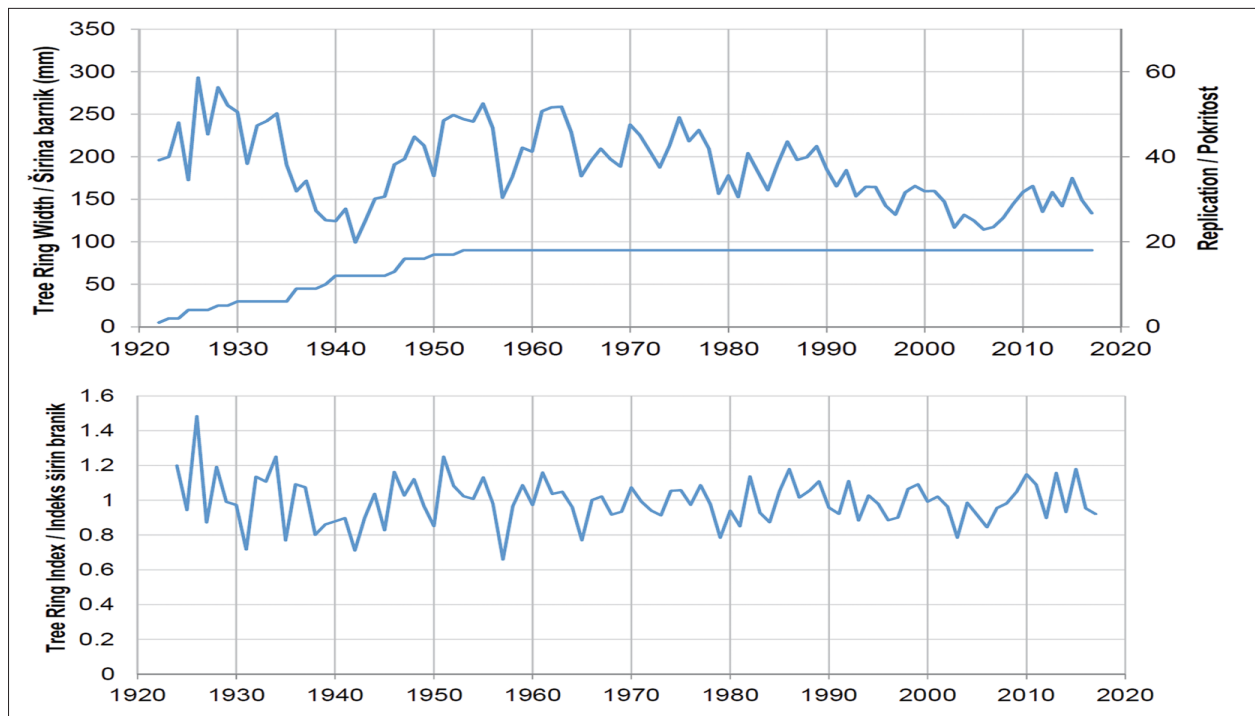


Figure 2. Oak tree-ring chronology of Klanec pri Kozini (KLA) vs. time in years: (1) tree-ring width raw-data chronology and replication (number of tree-ring series) (upper graph) and (2) tree-ring indices of detrended residual chronology. The chronology spans the period 1922–2017 and the optimally replicated part with expressed population signal strength (EPS)  $\geq$  0.848 spans 1925–2017.

Slika 2. Kronologija širin branik hrasta s Klanca pri Kozini (KLA) v odvisnosti od časa (koledarskih let): (1) kronologija širin branik in pokritost - število vključenih zaporedij širin branik (zgoraj) in (2) indeksi širin branik residualne kronologije. Razpon kronologije je 1922–2017, optimalna pokritost, ko je izražen populacijski signal (EPS)  $\geq$  0.848, ustreza obdobju 1925–2017.

Table 2. Descriptive statistics of residual oak chronology for Klanec pri Kozini and Rožnik, Ljubljana used for comparison. Rbar – running correlation between tree-ring series of the chronology, EPS – expressed population signal, SNR-signal to noise ratio, MS – mean sensitivity.

Preglednica 2. Opisna statistika residualne hrastove kronologije za lokacijo Klanec pri Kozini in za primerjavo Rožnik, Ljubljana. Rbar-drseča korelacija med zaporedji širin branik kronologije, EPS-izraženi populacijski signal, SNR- razmerje signala in šuma, MS - srednja občutljivost.

Location / Lokacija	Chronology / Kronologija	Start / Začetek	End / Konec	Period 1925–2013 / Obdobje 1925–2013			
				Rbar	EPS	SNR	MS
Klanec pri Kozini	KLA	1922	2017	0.269	0.848	5.588	0.2344040
Rožnik, Ljubljana	ROZ	1830	2013	0.192	0.900	9.039	0.2215007

### 3.2 TREE-RING VARIATION AND CLIMATE

#### 3.2 VARIIRANJE ŠIRIN BRANIK IN KLIMA

Correlation coefficients (CFCs) calculated between the residual version of the KLA chronology and monthly mean (TMD), minimum (TMN), and maximum (TMX) temperature showed that June temperature is the main climatic factor governing the tree-ring variation of oak on Klanec pri Kozini. The highest CFC values were obtained with TMX (CFC= -0.412), which indicates that going above the

average maximal temperature in June negatively affects tree-ring width (Figure 3). In contrast, precipitation in March (CFC= 0.321) positively affects the growth of oak on the same site. Furthermore, statistically significant CFC values also show that the temperatures in April and September (TMN, TMX, TMD) as well in January (TMN) have positive effect on tree-ring width. CFC values for precipitation in June were positive and just below the significance values.

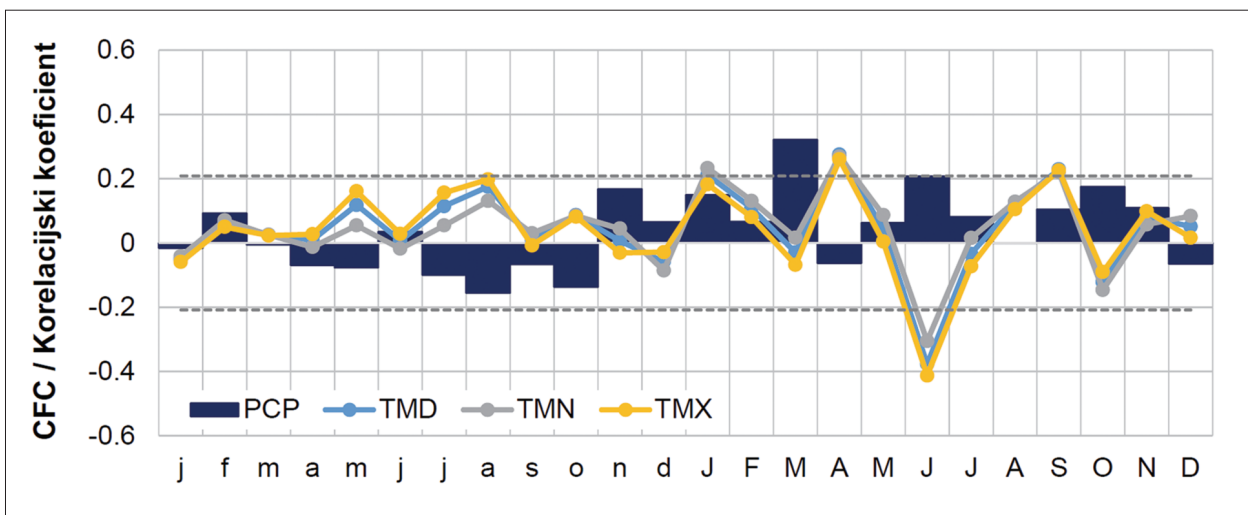


Figure 3. Correlation coefficients (CFC) calculated between the residual version of oak chronology from Klanec pri Kozini (KLA) and monthly mean (TMD), minimum (TMN), and maximum (TMX) temperature (lines) and precipitation (bars) from previous January (j) to current December (D) for the period 1925–2013. CFC values are statistically significant ( $p < 0.05$ ) if  $> 0.2084$  or  $< -0.2084$  (dashed horizontal lines).

Slika 3. Korelacijski koeficienti, med residualno verzijo hrastove kronologije s Klanca pri Kozini (KLA) in mesečnimi srednjimi (TMD), minimalnimi (TMN) in maksimalnimi (TMX) temperaturami (črte) ter padavinami (stolpci) od preteklega januarja (j) do decembra (D) tekočega leta za obdobje 1925–2013. Vrednosti koeficientov so statistično značilne ( $p < 0,05$ ), če so manjše od -0,2084, ali večje od 0,2084 (črtkane vodoravne daljice).



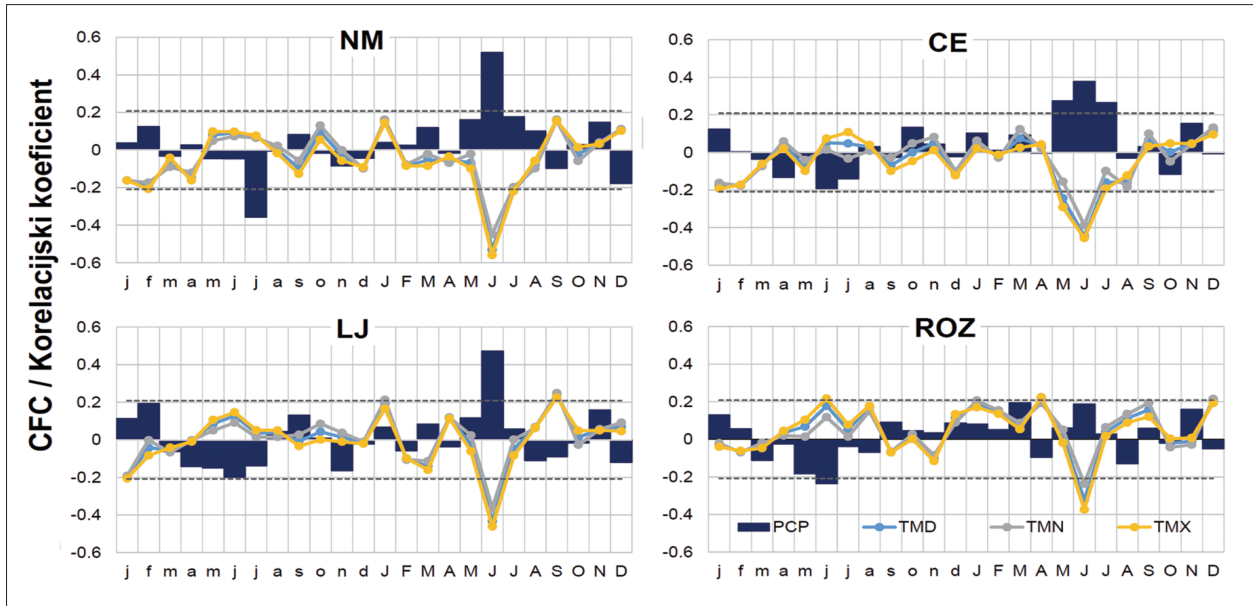


Figure 4. Correlation coefficients (CFC) calculated between tree-ring indices of the residual oak chronologies from the sites NM (Novo mesto), CE (Celje), LJ (Ljubljana) and ROZ (Rožnik, Ljubljana) and monthly mean (TMD), minimum (TMN), and maximum (TMX) temperature (lines) as well as precipitation (PCP, bars) from the previous January (j) to current December (D) for the period 1925-2013. CFC values are statistically significant ( $p < 0.05$ ) if  $> 0.2084$  or  $< -0.2084$  (dashed horizontal lines).

Slika 4. Korelacijski koeficienti (CFC), med indeksi širin branik residualnih kronologij hrasta z rastišč NM (Novo mesto), CE (Celje), LJ (Ljubljana) in ROZ (Rožnik, Ljubljana) ter mesečnimi srednjimi (TMD), minimalnimi (TMN) in maksimalnimi (TMX) temperaturami (črte) in mesečnimi padavinami (PCP, stolpci) od preteklega januarja (j) do decembra (D) tekočega leta za obdobje 1925–2013. CFC vrednosti so statistično značilne ( $p < 0,05$ ), če so manjše od  $-0,2084$ , ali večje od  $0,2084$  (vodoravne črtkane daljice).

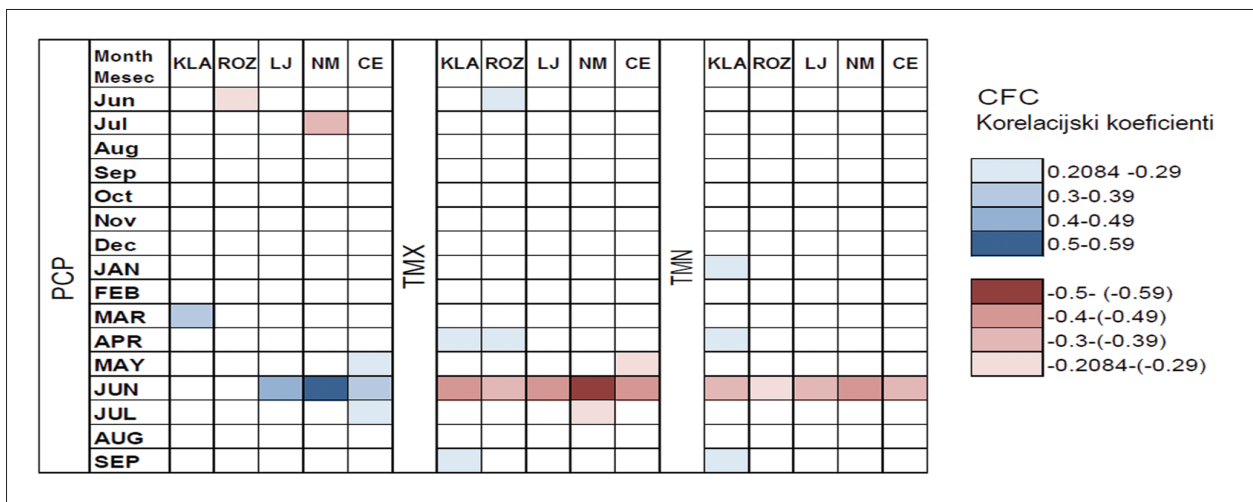


Figure 5. Overview of statistically significant correlation function coefficients (CFC) between residual chronologies and precipitation (PCP), maximum (TMX) and mean (TMD) temperatures (compare Figures 3 and 4).

Slika 5. Primerjalni pregled statistično značilnih korelacijskih koeficientov med residualnimi kronologijami in padavinami (PCP), maksimalnimi (TMX) ter minimalnimi (TMN) temperaturami (prim. sliki 3 in 4).

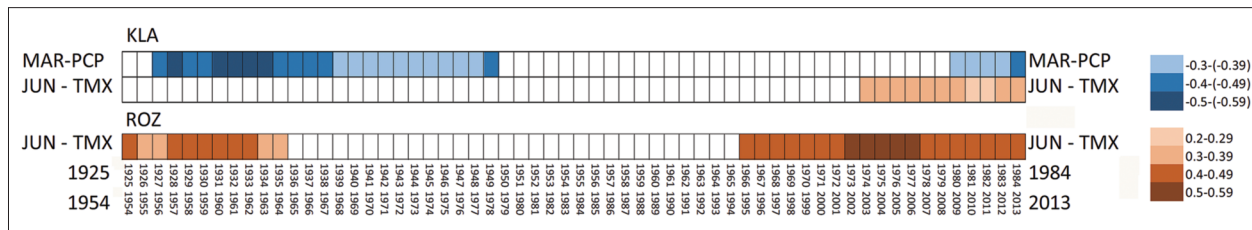


Figure 6. Moving correlation values for current March precipitation (MAR-PCP) and June maximum temperatures (JUN-TMX) for the KLA chronology and JUN-TMX for ROZ computed with DendroCLIM2002 using an interval length of 30 years; the first interval goes from 1925 to 1954 and last one from 1984 to 2013. Blue colour indicates positive and brown negative values. Darker colours indicate higher values. Only statistically significant ( $p < 0.05$ ) correlation values lower than  $-0.3610$  or greater than  $0.3610$  are shown.

Slika 6. Vrednosti drsečih korelacij za padavine v tekočem marcu (MAR-PCP) in maksimalne temperature v juniju (JUN-TMX) za kronologijo KLA ter JUN-TMX za ROZ, izračunanih s programom DendroCLIM2002, za intervale dolge 30 let; prvi interval zajema obdobje od 1925 do 1954, zadnji pa 1984 do 2013. Modra barva nakazuje pozitivno korelacijo, rjava pa negativno. Temnejša barva nakazuje višjo korelacijo. Prikazane so le statistično značilne ( $p < 0,05$ ) korelacije manjše od  $-0,3610$  ali večje od  $0,3610$ .

CFCs were calculated according to the same methodology used for the residual versions of oak chronology ROZ (Tables 1, 2) and for the chronologies from three denoted as sites NM (Novo mesto), CE (Celje) and LJ (Ljubljana) in Slovenia, i.e. sites SI1, SI2 and SI3 in the study of Čufar et al. (2014 a) (Figures 2, 3, 4, 5, Tables 2, 3). The location of ROZ partly overlaps with that of LJ, which included trees from a slightly larger area. The data show that tree-ring variation at NM, CE, and LJ is positively affected by June precipitation and negatively by June temperature. This signal is the most pronounced in the case of NM. In contrast, CFCs in case of ROZ only show the negative effect of June temperature and, as in KLA, no statistically significant effect of June precipitation. The correlation was always the highest when using the maximum temperature (TMX).

Moving correlation (Figure 6) for the most relevant climatic parameters, i.e. current June maximum temperatures (JUN-TMX) and March precipitation (MAR-PCP) for the KLA chronology showed that the negative effect of JUN-TMX is statistically significant for the period 1974-2003 and that there is a positive effect of March from 1980-2009 onwards. March precipitation was also significant in the juvenile period of tree growth till 1949-1978. However, ROZ showed that the negative effect of JUN-TMX was statistically significant for the period 1925-1954 until 1935-1964 and again from 1966-1995 till 1966-2013. The correlation values are generally higher in the last few decades.

### 3.3 COMPARISON WITH OTHER CHRONOLOGIES - TELECONNECTION

#### 3.3 PRIMERJAVA Z DRUGIMI KRONOLOGIAMI - TELEKONEKCIJA

Similarities (and differences) among the climatic signals in KLA and the chronologies from other sites in Slovenia are reflected in the visual agreement of their tree-ring patterns (Figure 8) and in the dendrochronological statistical parameters of their agreement ( $t$ -values,  $t_{BP}$  or  $t_H \geq 4$ ,  $Gl_k \geq 65\%$ ) (Table 3, Figure 7).

Comparison of KLA with other oak chronologies from Slovenia using standard dendrochronological statistical parameters confirmed that KLA agreed best with ROZ ( $t_{BP} = 6.7$ ). The highest  $t$ -value can be ascribed to the longest overlap (89 years) and the strong negative effect to the June temperature on both chronologies (Table 3, Figure 8).

KLA also agreed well with the chronology NM ( $t_{BP} = 6.3$ ). Slightly lower values were found for KLA and LJ ( $t_{BP} = 4.2$ ). The lowest similarity is found between KLA and CE, with a  $t$ -value just below the significance level ( $t_{BP} = 3.8$ ).

Furthermore, cross-dating of KLA with 38 chronologies from Austria, Croatia, Hungary and Serbia (Čufar et al., 2014 a) showed significant agreement with the chronology HR1 from the surroundings of Zagreb, Croatia ( $t_{BP} = 4.3$ ) and with the chronology A4 of Fehring, Austria ( $t_{BP} = 4.1$ ) (Table 3, Figure 8). Other chronologies did not show statistically significant agreement with KLA (Figure 8).

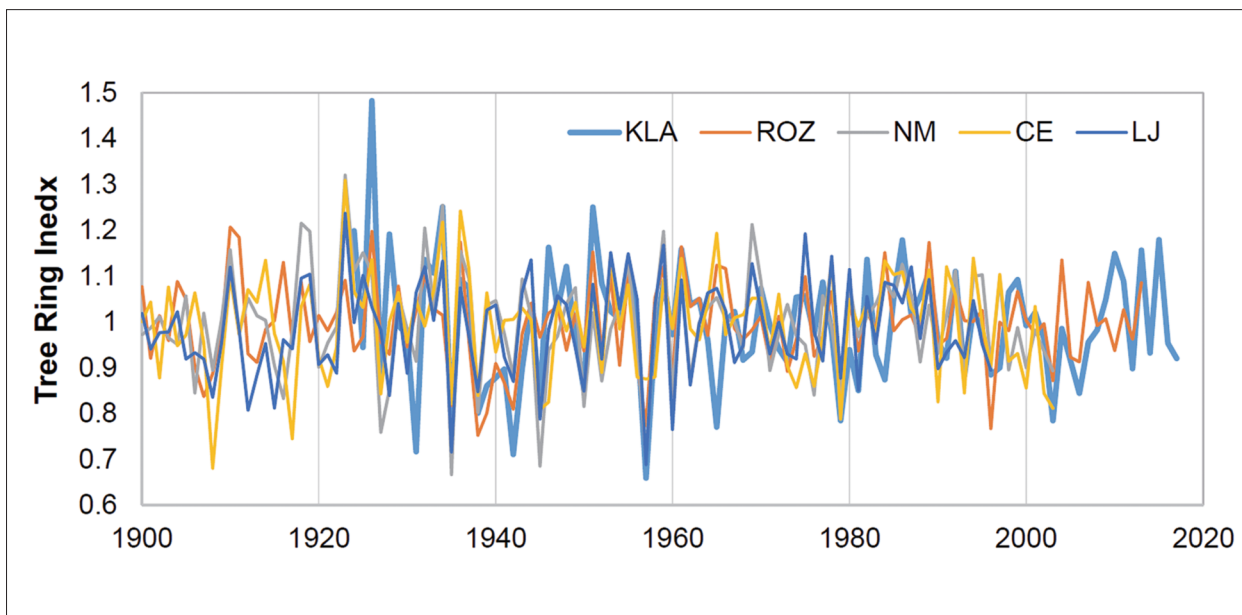


Figure 7. Residual chronologies of oak from KLA compared with those from other sites (ROZ, NM, CE and LJ) in Slovenia (compare with Table 3).

Slika 7. Hrastove kronologije residual za KLA v primerjavi s slovenskimi kronologijami hrasta ROZ, NM, CE in LJ (prim. preglednico 3).

Table 3. Comparison of Klanec pri Kozini oak chronology (KLA) with local oak chronologies from Slovenia and surrounding countries (compare with Fig. 9). All chronologies used for comparison, except ROZ, are presented in Čufar et al. (2014 a).  $t_{BP}$  - t-value after Baillie and Pilcher, or  $t_H$  - t-value after Hollstein, Glk – sign test – Gleichläufigkeit. The agreement is considered statistically significant if t-value ( $t_{BP}$  or  $t_H$ )  $\geq 4$  and Glk  $\geq 65\%$ .

Preglednica 3. Primerjava hrastove kronologije s Klanca pri Kozini (KLA) z lokalnimi hrastovimi kronologijami iz Slovenije in bližnjih držav (prim. sliko 9). Vse kronologije razen ROZ, so bile predstavljene v Čufar et al. (2014 a).  $t_{BP}$  - t-vrednost Baillie in Pilcher,  $t_H$  - t-vrednost Hollstein, Glk - koeficient ujemanja - Gleichläufigkeit. Ujemanje je statistično značilno, če je t – vrednost ( $t_{BP}$  ali  $t_H$ )  $\geq 4$  in Glk  $\geq 65\%$ .

Code / Oznaka	End Date / Zadnje leto	Overlap / Prekrivanje [years / leta]	$t_{BP}$	$t_H$	Glk [%]	Location / Lokacija	Country / Država	Longitude / Dolžina	Latitude / Širina	Altitude / Nadm. višina [m]	Distance / Razdalja [km]
KLA	2017					Klanec pri Kozini	Slovenia	13.92°	45.59°	450	0
ROZ	2013	89	6.7	6.2	69***	Ljubljana, Rožnik	Slovenia	14.47°	46.05°	300	65
NM (S11)	2003	79	6.3	7.6	68***	Novo mesto	Slovenia	15.18°	45.80°	220	100
HR1	2009	85	4.3	3.1	61*	Zagreb	Croatia	16.03°	45.82°	140	160
LJ (S3)	1996	72	4.2	4.8	67**	Ljubljana	Slovenia	14.48°	46.07°	300	65
A04	2007	83	4.1	4.1	66**	Fehring	Austria	16.02°	46.93°	270	220
CE (S2)	2003	79	3.8	4.4	66**	Celje-Kozjansko	Slovenia	15.25°	46.25°	240	130

However, no statistically significant matches were found between KLA and three unpublished chronologies of western Slovenia (Lipica, Panovec, and Posočje – Plave), more than 15 tree-ring chronologies of beech from Slovenia (*Fagus sylvatica* L.) (Čufar et al., 2008 d and unpublished data) or with 10 oak chronologies from remote sites in NW Italy (Bernabei, personal communication). Among the reasons for this are short overlaps, as many chronologies have end dates in the 1990s, or great distances between the geographical areas of the chronologies.

## 4 DISCUSSION

### 4 DISKUSIJA

The tree-ring chronology of sessile oak for Klanec pri Kozini (KLA) is 93 years long and spans the period 1925-2017. It is shorter and has a more recent end date than the other available oak chronologies in Slovenia used for comparison. Therefore, its overlap with other chronologies is short and consequently the t-values of comparison are lower (Table 3). On the other side, KLA covers the most recent two decades which are characterized by a pronounced rise in temperature (De Luis et al., 2014; Cegnar, 2017), therefore it is useful to study the recent effects of climatic change.

Tree-ring width at KLA is negatively affected by high temperature in June (especially maximum tem-

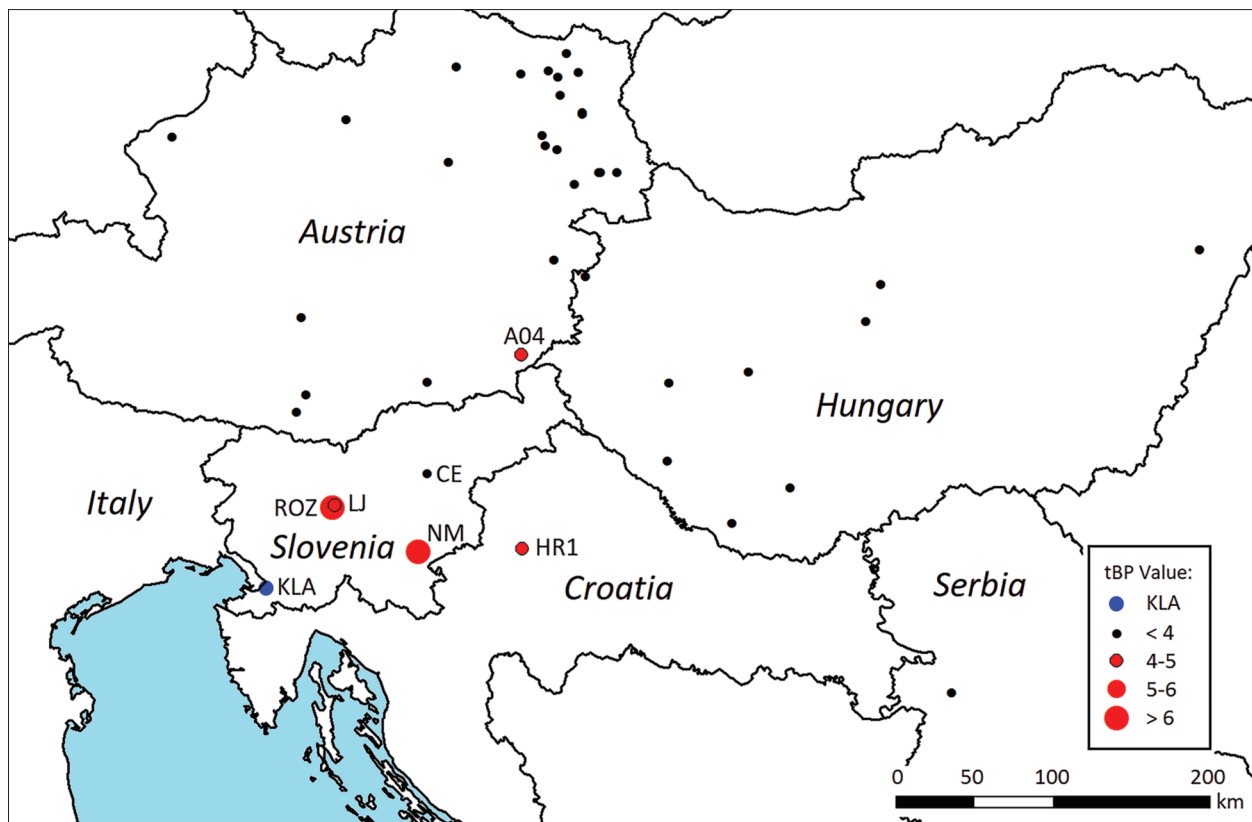


Figure 8. Teleconnection of oak chronology KLA (Klanec pri Kozini) with local oak chronologies from Slovenia and surrounding countries. The chronologies showing  $t_{BP} \geq 4$  are indicated with progressively larger red points and labels, small black points represent chronologies with  $t_{BP} < 4$ ; for details of teleconnection see Table 3, for data on chronologies used for comparison see Čufar et al. (2014 a).

Slika 8. Telekonekcija hrastove kronologije KLA (Klanec pri Kozini) z lokalnimi hrastovimi kronologijami iz Slovenije in bližnjih držav. Kronologije s  $t_{BP} \geq 4$  so prikazane z različno velikimi rdečimi pikami in oznakami, medtem ko so kronologije s  $t_{BP} < 4$  označene z majhnimi črnimi pikami. Osnovni podatki so na voljo v preglednici 3, informacije o primerjalnih kronologijah pa tudi v Čufar et al. (2014 a).



perature), and the moving average correlation values (Figure 6) show that the negative effect became statistically significant in the last eleven 30-year intervals, i.e. from 1975-2004 until 1984-2013. This indicates that the maximum temperatures are becoming increasingly limiting for the growth of oak. In the last two decades over 70% of the years had June temperatures higher than the long-term average of the 1925-2013 period (Figure 9). The increasing significance of the negative effect of June temperature in the last two decades can possibly be ascribed to rising temperature due to climatic change. It should be also noted that the temperature at KLA is systematically higher than that at ROZ, Ljubljana (June TMX at KLA=24.1°C and at ROZ=20.4°C) (Figure 1, 9).

In addition, tree-ring width at KLA is positively affected by March precipitation. This points to the great importance of early spring moisture for the onset of wood production by the cambium, which in oak in central Slovenia may already start in March (Gričar, 2008; 2010). March precipitation could thus cause the earlier onset of cambial production and therefore a longer growth period and a wider tree-ring.

Tree-ring width at KLA is also positively affected by temperatures in April (TMX and TMN) and January (TMN). Higher temperatures at the beginning of the year, especially in April, are of great importance for early phenology, like the onset of cambial production and leaf unfolding (e.g., Čufar et al., 2008 d; Gričar, 2008, 2010; Puchařka et al., 2017).

KLA compared with other chronologies from Slovenia showed the highest similarity with ROZ

chronology. KLA and ROZ have the longest overlap (89 years) due to similar end dates (2017 and 2013) and the highest statistical agreement ( $t_{BP}=6.7$ ,  $Glk=69\%$ ). Both chronologies showed a pronounced negative response to June temperature, and in contrast to other chronologies in Slovenia (NM, CE and LJ) used in this study, no significant positive response to June precipitation. Furthermore, KLA and ROZ are based on samples of *Q. petraea*, whereas the other chronologies are based on *Q. petraea* and *Q. robur*. This could be another reason for the high similarity between KLA and ROZ.

KLA also agreed well with the local chronology HR1 from the surroundings of Zagreb, Croatia, and with the chronology A04 from a 220 km distant site Fehring in Austria. However, the data on the climatic signal of these two chronologies (HR1 positive response to May and June precipitation, negative response to June temperature, A04 strong positive response to May precipitation (Čufar et al., 2014 a)) do not seem to explain the similarity over a greater distance.

All oak chronologies which agree with KLA are from the areas 65 – 220 km north east from KLA. However, the question as to the possible agreement of KLA with Italian oak chronologies remains open due to the lack of an adequate chronology network in Italy (Bernabei, personal communication).

Although KLA originates from the location on the Karst edge, less than 10 km from the Adriatic coast, its tree-ring variation agrees unexpectedly well with oak in central Slovenia. The high similarity

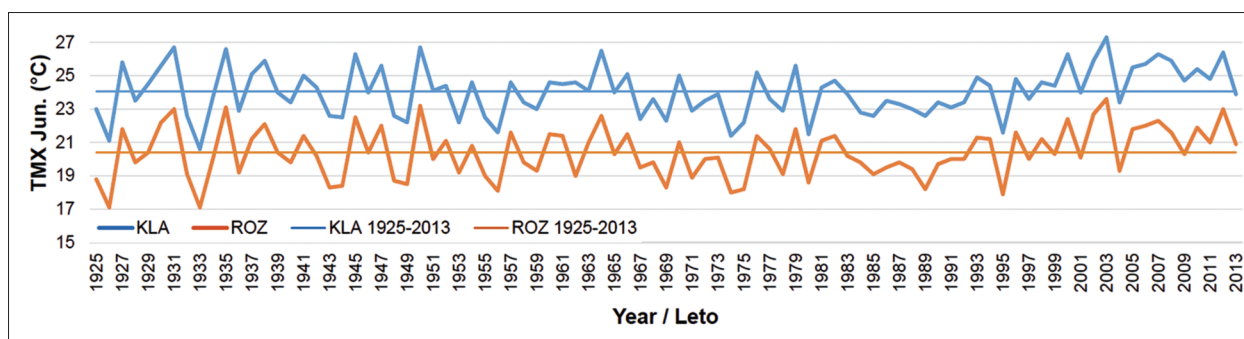


Figure 9. Maximum temperatures (TMX) in June compared with average June TMX in the reference period 1925-2013 (lines) based on CRU data representative for the sites Klanec pri Kozini (KLA) and Rožnik, Ljubljana (ROZ) (for CRU see Table1).

Slika 9. Maksimalne temperature (TMX) za junij v obdobju 1925–2013 v primerjavi s povprečjem za celotno referenčno obdobje (premici) na osnovi CRU podatkov, reprezentativnih za lokaciji Klanec pri Kozini (KLA) in Rožnik, Ljubljana (ROZ) (za CRU glejte Preglednico 1).

between KLA and ROZ is probably also due to the relatively similar weather conditions, as shown by the climograms representative for KLA and ROZ (Figure 1). Although the KLA and ROZ sites generally belong to different climatic zones, the differences in climatic regimes (especially the higher temperature at KLA) do not seem to have any significant effect.

Klanec pri Kozini is located in the sub-Mediterranean climatic zone of the hinterlands, where precipitation is greater than 1200 mm, whereas Rožnik (Ljubljana) and Novo mesto (NM) are located in the temperate continental climatic zone, which still has some sub-Mediterranean influence on the precipitation regime. The transition area between the sub-Mediterranean and temperate continental climate extends widely over west, central and south Slovenia (Ogrin, 1996). Metzger et al. (2005) who divided the whole of Europe into two large climatic regions, set the border between warm South Europe and cold North Europe somewhere very close to the KLA site. This supports the assumption that the impacts of both the Mediterranean and continental climates are strong there.

Larger differences in oak chronologies could probably be found with sites under the Karst edge, i.e. close to sea level, and this remains an open question for future research. Only 6 km away from KLA towards Koper or Trieste the elevation drops from ca. 450 m a.s.l. to sea level, where the influence of the Mediterranean would be much stronger. The climate there is considered to be sub-Mediterranean – littoral, with a lower annual amount of precipitation (between 1000 to 1200 mm) and higher temperatures than on the Karst edge and in central Slovenia (Ogrin, 1996). The difference in climatic affects could be also seen by examining typical Mediterranean tree species like olive (*Olea europaea*) and Aleppo pine (*Pinus halepensis*) which grow below the Karst edge where the elevation approaches sea level, although they do not survive on sites like KLA (450 m a.s.l.) with below zero monthly minimum temperatures in January and February.

## 5 CONCLUSIONS

### 5 ZAKLJUČKI

The tree-ring chronology of *Quercus petraea* for Klanec pri Kozini (KLA) constructed in the current work is 93 years long and spans the period 1925-

2017, and this shows that tree-ring width at KLA is negatively affected by high temperature in June (especially the maximum temperature) and positively by precipitation in March. The negative effect of June is especially pronounced in recent decades.

Comparison of KLA with other chronologies from Slovenia showed the highest similarity with an oak chronology of Rožnik, Ljubljana (ROZ), with a similar negative response to June temperature.

KLA also significantly agrees with two Slovenian chronologies from the area of Novo mesto (NM) and Ljubljana (LJ), which are characterized by a negative response to June temperature and a positive one to June precipitation, as well as with one from Croatia and one from Austria. Agreement of KLA with oak in Italy could not be confirmed due to lack of adequate chronologies for comparison.

Although KLA is at a location on the Karst edge, less than 10 km from the Adriatic coast, its similarity with the chronology ROZ of central Slovenia can be explained by climatic effects, although the KLA site is slightly warmer and drier than ROZ.

The increasing significance of the negative effect of June temperatures, especially in recent decades can be ascribed to rising temperatures due to climatic change.

The present study shows that further research in the transitional area between the Mediterranean climate and the temperate Continental one could be of great importance to better understand the response of oak to the environment, to improve the network of oak chronologies in the region and to possibly fill the current spatial and chronological gaps in the region south of the Alps.

## 6 SUMMARY

### 6 POVZETEK

Hrast je pomemben les v evropski dendrokronologiji. Ker najpogostejših hrastov gradna (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) in doba (*Quercus robur* L.) ne moremo zanesljivo razlikovati po lesu, ju v dendrokronologiji povezani s kulturno dediščino pogosto obravnavamo skupaj kot evropski hrast (*Quercus* sp.) (npr. Haneca et al., 2009). V Evropi so sestavili številne hrastove kronologije, med njimi več regionalnih, ki so dolge več tisoč let (Baillie, 1995; Haneca et al., 2009; Prokop et al., 2017). Najdaljša je južno-nemška Hohenheimska hrastova kronologija, ki sega do 8480

pr. n. št. (Friedrich et al., 2004). Poleg sestavljenih regionalnih kronologij so za razumevanje ekologije hrasta pomembne tudi lokalne kronologije.

V Sloveniji prvi poskusi sestave hrastovih kronologij niso bili spodbudni, ker na rast hrasta pogosto vplivajo lokalni dejavniki kot je npr. nivo podtalnice (Levanič, 1993; Čufar & Levanič, 1999; Čater & Levanič, 2004, 2015; Gričar et al., 2013; Jevšenak & Levanič, 2015) in ne nad-regionalni podnebni dejavniki, ki omogočajo sestavljanje kronologij. Prva daljša sestavljena kronologija hrasta v Sloveniji je bila 548-letna kronologija za obdobje 1456–2003, ki temelji na lesu dreves in zgodovinskih konstrukcij iz JV Slovenije (Čufar et al., 2008 a, b). Izkazalo se je, da ima dobro telekonekcijo z različnimi kronologijami iz do 700 km oddaljenih krajev v Avstriji, na Madžarskem, v Srbiji, na Češkem in v Južni Nemčiji. Na variiranje širin branik te kronologije pozitivno vplivajo junijske padavine, negativno pa junijske temperature. Zato so kronologijo uporabili za rekonstrukcijo junijskih vremenskih razmer v zadnjih petih stoletjih (Čufar et al., 2008b) skupaj z drugimi podatki pa tudi za rekonstrukcijo sušnih in deževnih obdobjev v Evropi v zadnjih 2000 letih (Cook et al., 2015). Znanje o telekonekciji hrasta iz Slovenije je tudi pripomoglo k absolutnemu datiranju kronologije koliščarskih naselij iz Ljubljanskega barja (razpon 3771 in 3330 pr.n.št.), s pomočjo dolge nemško švicarske hrastove kronologije (Čufar et al., 2015).

Ker sestavljene kronologije seštevajo učinke različnih dejavnikov na rast dreves iz širših območij, potrebujemo tudi lokalne raziskave oz. mreže podatkov iz znanih okolij, kot npr. v študiji, kjer so uporabili 41 lokalnih kronologij iz Avstrije, Hrvaške, Madžarske, Srbije in Slovenije (Čufar et al., 2014 a, b) in pokazali, da je vsem kronologijam skupen pozitiven odziv na spomladanske in poletne padavine (marec in junij) in negativen na spomladanske in poletne temperature (april in junij) ter razložili razlike med rastišči (Čufar et al., 2014 a, b).

Dosedanje raziskave hrasta v Sloveniji s ciljem izdelave daljših kronologij za raziskave lesa iz preteklih obdobjev so bile osredotočene predvsem na osrednjo in Jugovzhodno Slovenijo z zmerno celinskim podnebjem in na telekonekcijo z območji severno, vzhodno in jugovzhodno od Slovenije, ki so vse bolj pokrita z dendrokronološkimi podatki. Po drugi strani še vedno premalo poznamo dendrokronologijo hra-

sta iz zahodne in jugozahodne Slovenije ob prehodu iz zmerne kontinentalnega v submediteransko podnebje in na možnost telekonekcije z rastišči v Italiji. Sodelovanje med slovenskimi in italijanskimi laboratoriji je na primer že pripomoglo k razjasnitvi odnosov med kronologijami macesna (*Larix decidua*) (Levanič et al., 2001), bukve (*Fagus sylvatica*) (Di Filippo et al., 2007) in smreke (*Picea abies*) (Bernabei et al., 2017) iz zadnjega tisočletja, pa tudi za hrast iz prazgodovinskih kolišč iz 4. tisočletja pr. n. št. (Čufar & Martinelli, 2004), primanjkuje pa podatkov o možnosti telekonekcije modernega hrasta iz Slovenije in Italije, kjer še ni ustrezne mreže hrastovih kronologij (Bernabei, osebna komunikacija).

Namen te študije je zato (1) sestaviti lokalno kronologijo hrasta gradna (*Quercus petraea*) za Klanec pri Kozini, na kraškem robu v JZ Sloveniji blizu meje z Italijo, (2) raziskati njegovo telekonekcijo z razpoložljivimi kronologijami hrasta na širšem območju in (3) prikazati, kako podnebne spremembe vplivajo na variacije širin branik pri hrastu na meji med submediteranskim in zmerno celinskim območjem.

Na rastišču Klanec pri Kozini (45,59° S, 13,92° V, 450 m nadmorske višine), ki se nahaja na kraškem robu približno 15 km od Kopra, smo pridobili kolute 9 dominantnih ali kodominantnih dreves hrasta gradna *Quercus petraea*, posekanih pozimi 2017. Kolute smo gladko zbrusili in vzdolž 2 radijev izmerili širine branik. Datirana zaporedja širin branik smo s pomočjo programa ARSTAN (Holmes, 1994) združili v različne verzije kronologije ARSTAN, v nadaljevanju pa smo residualno verzijo (RES) uporabili za dendroklimatološke analize. Klimatske podatke smo pridobili iz javno dostopne baze CRU (<http://www.cru.uea.ac.uk/>) (Mitchell et al., 2004) (Preglednica 1). Za analize smo uporabili program DendroClim2002 (Biondi & Waikul, 2004). Za raziskavo telekonekcije smo kronologijo hrasta za Klanec pri Kozini (KLA) primerjali s hrastovimi kronologijami iz študije (Čufar et al., 2014 a, b) in novejšo še neobjavljeno kronologijo Rožnika, Ljubljana (ROZ) za obdobje 1830–2013. Uporabili smo tudi nekaj še neobjavljenih kronologij hrasta, kronologije bukve (Čufar et al., 2008c) in nekaj kronologij hrasta in bukve iz Italije (Bernabei, osebna komunikacija).

Kronologija za Klanec pri Kozini (KLA) z ustreznim populacijskim signalom ( $EPS \geq 0.848$ ) je dolga 93 let in pokriva obdobje 1925–2017 (slika 2). Dendro-

klimatološka analiza in izračun korelacijskih koeficientov (CFC), med RES kronologijo KLA in mesečno povprečno (TMD), minimalno (TMN) in maksimalno (TMX) temperaturo, sta pokazala, da na variabilnost širin branik najbolj vpliva junijska temperatura (slika 3). Pomemben je tudi pozitiven vpliv padavin v marcu ter temperatur v aprilu in septembru (TMN, TMX, TMD), ter v januarju (TMN).

Korelacije so bile po isti metodologiji izračunane tudi za primerjalne hrastove kronologije ROZ (preglednici 1, 2) ter NM (Novo mesto), CE (Celje) in LJ (Ljubljana) (označene kot SI1, SI2 in SI3 v raziskavi Čufar et al., 2014a, b) (slike 4, 5, 6 in Preglednica 3). Lokaciji kronologij ROZ in LJ se delno prekrivata, vendar LJ zajema širše območje, dve vrsti hrasta (dob in graden), ter se konča že pred letom 2000. Podatki kažejo, da na variabilnost širin branik pri NM, CE in LJ pozitivno vplivajo junijske padavine in negativno junijska temperatura. Ta signal je najbolj izrazit pri NM z območja Novega mesta. Nasprotno, korelacije v primeru ROZ tako kot pri KLA kažejo le negativni učinek junijskih temperatur, vpliv junijskih padavin pa ni statistično značilen. Korelacijske vrednosti so bile vedno najvišje pri uporabi maksimalne temperature (TMX).

Analiza drsečih sredin je pokazala, da pomen negativnega učinka junijskih temperatur v zadnjem obdobju narašča tako na KLA kot na ROZ, kar je mogoče pripisati splošnemu naraščanju temperatur zaradi globalnega segrevanja.

Tudi dendrokronološka statistika potrjuje najvišjo podobnost KLA s kronologijo ROZ ( $t_{BP}=6.7$ ,  $Gl_k=69\%$ ). KLA se dobro ujema tudi s kronologijama s področja Novega mesta (NM) in Ljubljane (LJ) v Sloveniji, ter s po eno lokalno kronologijo iz Hrvaške in iz Avstrije (preglednica 3, slika 8). Tako smo potrdili telekonekcijo KLA s kronologijami na rastiščih oddaljenih 65-220 km severno-vzhodno od KLA. Ujemanja KLA s hrastom v Italiji pa ni bilo mogoče potrditi zaradi pomanjkanja ustreznih kronologij za primerjavo (Bernabei, osebna komunikacija).

Ker se rastišče KLA nahaja na kraškem robu (450 m n.m.v.), manj kot 10 km od jadranske obale, je velika podobnost s kronologijo ROZ iz centralne Slovenije nekoliko presenetljiva, najverjetneje zaradi podobnosti klimatskih podatkov (slika 1) reprezentativnih za lokaciji KLA in ROZ. Lokacija KLA je sistematično toplejša (vključno z zimskimi meseci kjer so samo minimalne januarske in februarske tempera-

ture rahlo pod lediščem (slika 1) in ima nekoliko nižjo količino padavin kot osrednja Slovenija.

Pričujoča študija kaže, da so raziskave na prehodnem območju med glavnima klimatskima območjema, sredozemskim in kontinentalnim, s predstavljeno kronologijo KLA pomembne za boljše razumevanje rasti in odzivov hrasta na okoljske dejavnike, za izboljšanje mreže hrastovih kronologij v regiji in za bodoče zapolnjevanje prostorskih in časovnih vrzeli v kronologijah v regiji južno od Alp.

## ACKNOWLEDGEMENTS

### ZAHVALA

The study was supported by the Slovenian Research Agency, program P4-0015. International cooperation was supported by the Erasmus+ program (supporting the work of Giulia Antonia Resente). We thank Jože Planinšič and Luka Krže, for their support with the work in the laboratory. We are grateful to two anonymous referees for their valuable comments which helped us to improve the manuscript, and to Paul Steed for English language editing.

## REFERENCES

### VIRI

- ARSO (2018). Slovenian Environment Agency, ARHIV - opazovani in merjeni meteorološki podatki po Sloveniji. Meteorološka postaja Godnje, 1961-2017. <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive/> 11.6.2018.
- Baillie, M. G. L. (1995). A slice through time - dendrochronology and precision dating. B.T. Batsford Ltd., London.
- Bernabei, M., Bontadi, J., Čufar, K., & Baici, A. (2017). Dendrochronological investigation of the bowed string instruments at the Theatre Museum Carlo Schmidl in Trieste, Italy, *Journal of Cultural Heritage*, 27, S55-S62. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2016.11.010>
- Billamboz, A. (2003). Tree rings and wetland occupation in southwest Germany between 2000 and 500 BC: Dendroarchaeology Beyond Dating in Tribute to F. H. Schweingruber. *Tree-Ring Research*, 59(1), 37-49.
- Biondi, F. (1997). Evolutionary and moving response functions in dendroclimatology. *Dendrochronologia*, 15, 139-150.
- Biondi, F., & Waikul, K. (2004). DENDROCLIM2002: a C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Computational Geosciences*, 30(3), 303-311.
- Büntgen, U., Tegel, W., Nicolussi, K., McCormick, M., Frank, D., Trouet, V., ... & Esper, J. (2011). 2500 Years of European climate variability and human susceptibility. *Science*, 331(6017), 578-582. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1197175>.



- Cegnar, T. (2017). Podnebne značilnosti leta 2017. Naše okolje, 241(2), 36-57.
- Cook, E. R., & Peters, K. (1997). Calculating unbiased tree-ring indices for the study of climatic and environmental change. *Holocene*, 7(3), 361-370.
- Cook, E. R., Seager, R., Kushnir, Y., Briffa, K. R., Büntgen, U., Frank, D., ... & Zang, C. (2015). Old World megadroughts and pluvials during the Common Era. *Science Advances*, 1(10), e1500561.
- Cybis Elektronik (2010). CDendroandCooRecorder, <http://www.cybis.se/forfun/dendro/index.htm/5.1.2015>
- Čater, M., & Levanič, T. (2004). Increment and environmental conditions in two Slovenian pedunculate-oak forest complexes. *Ekologia Bratislava*, 23(4), 1-2.
- Čater, M., & Levanič, T. (2015). Physiological and growth response of *Quercus robur* in Slovenia. *Dendrobiology*, 74, 3-12.
- Čufar, K., & Levanič, T. (1999). Tree-ring investigations in oak and ash from different sites in Slovenia. *Phyton*, (Austria), 39, 113-116.
- Čufar, K., & Martinelli, N. (2004). Teleconnection of chronologies from Hocevarica and Palu di Livenza, Italy. In: Velušček, A. (Ed.), Hocevarica, an eneolithic pile dwelling in the Ljubljansko barje. *Opera Instituti archaeologici Sloveniae* 8, Scientific Research Centre SASA, Ljubljana, 286-289.
- Čufar, K., De Luis, M., Zupančič, M., & Eckstein, D. (2008 a). A 548-year tree-ring chronology of oak (*Quercus* spp.) for southeast Slovenia and its significance as a dating tool and climate archive. *Tree-Ring Research*, 64(1), 3-15.
- Čufar, K., De Luis, M., Eckstein, D., & Kajfež-Bogataj, L. (2008 b). Reconstructing dry and wet summers in SE Slovenia from oak tree rings series. *International Journal of Biometeorology*, 52(7), 607-615.
- Čufar, K., De Luis, M., Horvat, E., & Prislán, P. (2008 c). Main patterns of variability in beech tree-ring chronologies from different sites in Slovenia and their relation to climate. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 53, 1-12.
- Čufar, K., Prislán, P., De Luis, M., & Gričar, J. (2008 d). Tree-ring variation, wood formation and phenology of beech (*Fagus sylvatica*) from a representative site in Slovenia, SE Central Europe. *Trees*, 22(6), 749-758.
- Čufar, K., Grabner, M., Morgós, A., Del Castillo, E. M., Merela, M., & De Luis, M. (2014 a). Common climatic signals affecting oak tree-ring growth in SE Central Europe. *Trees*, 28(5), 1267-1277.
- Čufar, K., Šefc, B., De Luis, M., Morgós, A., Grabner, M., Merela, M., & Trajković, J. (2014 b). Tree-ring chronology of pedunculate oak (*Quercus robur*) and its potential for development of dendrochronological research in Croatia. *Drvna industrija*, 65(2), 129-137.
- 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, 91-98.
- De Luis, M., Čufar, K., Saz, M. A., Longares, L. A., Ceglar, A., & Kajfež-Bogataj, L. (2014). Trends in seasonal precipitation and temperature in Slovenia during 1951–2007. *Regional environmental change*, 14(5), 1801-1810.
- Di Filippo, A., Biondi, F., Čufar, K., De Luis, M., Grabner, M., Maugeri, M., ... & Piovesan, G. (2007). Bioclimatology of beech (*Fagus sylvatica* L.) in the Eastern Alps: spatial and altitudinal climatic signals identified through a tree-ring network. *Journal of Biogeography*, 34(11), 1873-1892.
- Dobrovolný, P., Rybníček, M., Kolář, T., Brázdil, R., Trnka, M., & Büntgen, U. (2018). May–July precipitation reconstruction from oak tree-rings for Bohemia (Czech Republic) since AD 1040. *International Journal of Climatology*, 38(4), 1910-1924.
- Friedrich, M., Remmele, S., Kromer, B., Hofmann, J., Spurk, M., Kausser, K. F., Orsel, C., & Kuppers, M. (2004). The 12,460-year Hohenheim oak and pine tree-ring chronology from Central Europe; a unique annual record for radiocarbon calibration and paleoenvironment reconstructions. *Radiocarbon*, 46(3), 1111-1122.
- Friedrichs, D., Trouet, V., Büntgen, U., Frank, D., Esper, J., Neuwirth, B., & Löffler, J. (2009 a). Species-specific climate sensitivity of tree growth in Central-West Germany. *Trees*, 23(4), 729-739.
- Friedrichs, D. A., Büntgen, U., Frank, D. C., Esper, J., Neuwirth, B., & Löffler, J. (2009 b). Complex climate controls on 20th century oak growth in Central-West Germany. *Tree Physiology*, 29(1), 39-51.
- Gričar, J. (2008). Dinamika ksilogeneze pri gradnu v letu 2007. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, (86), 45-50.
- Gričar, J. (2010). Xylem and phloem formation in sessile oak from Slovenia in 2007. *Wood Research*, 55(4), 15-22.
- Gričar, J., De Luis, M., Hafner, P., & Levanič, T. (2013). Anatomical characteristics and hydrologic signals in tree-rings of oaks (*Quercus robur* L.). *Trees*, 27(6), 1669-1680.
- Guiot, J. (1991). The bootstrapped response function. *Tree Ring Bulletin*, 51, 39-41.
- Haneca, K., Čufar, K., & Beeckman, H. (2009). Oaks, tree-rings and wooden cultural heritage: a review of the main characteristics and applications of oak dendrochronology in Europe. *Journal of Archaeological Science*, 36(1), 1-11.
- Holmes, R. L. (1994). *Dendrochronology program library user's manual*. University of Arizona, Tucson, Arizona.
- Jevšenak, J., & Levanič, T. (2015). Dendrochronological and wood-anatomical features of differently vital pedunculate oak (*Quercus robur* L.) stands and their response to climate. *Topola 195/196*, 85–96.
- Kolář, T., Kyncl, T., & Rybníček, M. (2012). Oak chronology development in the Czech Republic and its teleconnection on a European scale. *Dendrochronologia*, 30(3), 243-248.
- Levanič, T. (1993). Vpliv melioracij na debelinsko rast in prirastek črne jelše, ozkolistnega jesena in doba v Prekmurju. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, (42), 7-65.
- Levanič, T., Pignatelli, O., & Čufar, K. (2001). A regional larch chronology of trees and historical buildings from Slovenia and Northern Italy. *Dendrochronologia*, (Verona), 19(2), 221-229.
- Metzger, M. J., Bunce, R. G. H., Jongman, R. H., Mücher, C. A., & Watkins, J. W. (2005). A climatic stratification of the environ-

- ment of Europe. *Global ecology and biogeography*, 14(6), 549-563.
- Mitchell, T. D., Carter, T. R., Jones, P. D., Hulme, M., & New, M. (2004). A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901–2000) and 16 scenarios (2001–2100). Tyndall centre for climate change research working paper, 55(0), 25.
- Nechita, C., Popa, I., & Eggertsson, Ó. (2017). Climate response of oak (*Quercus* spp.), an evidence of a bioclimatic boundary induced by the Carpathians. *Science of the Total Environment*, 599, 1598-1607.
- Ogrin, D. (1996). Podnebni tipi v Sloveniji. *Geografski vestnik*, 68(1), 39-56.
- Prokop, O., Kolář, T., Kyncl, T., & Rybníček, M. (2017). Updating the Czech millennia-long oak tree-ring width chronology. *Tree-ring research*, 73(1), 47-52.
- Puchałka, R., Koprowski, M., Gričar, J., & Przybylak, R. (2017). Does tree-ring formation follow leaf phenology in Pedunculate oak (*Quercus robur* L.)?. *European Journal of Forest Research*, 136(2), 259-268.
- Puncer, I., & Zupančič, M. (1979). Two New Associations of Durmast Oak in Slovenia (*Melampyro vulgati-Quercetum petraeae* ass. Nova s. lat.). *Scopolia*, 2, 1-47.
- Rybníček, M., Chlup, T., Kalábek, M., Kalábková, P., Kočár, P., Kyncl, T., ... & Kolář, T. (2018). New dendroarchaeological evidence of water well constructions reveals advanced Early Neolithic craftsman skills. *Dendrochronologia*, 50.
- Stojanović, D., Levanič, T., Matović, B., & Bravo-Oviedo, A. (2015). Climate change impact on a mixed lowland oak stand in Serbia. *Annals of Silvicultural Research*, 39(2), 94-99.
- Tegel, W., Vanmoerkerke, J., & Büntgen, U. (2010). Updating historical tree-ring records for climate reconstruction. *Quaternary Science Reviews*, 29(17-18), 1957-1959.
- Tegel, W., Elburg, R., Hakelberg, D., Stäuble, H., & Büntgen, U. (2012). Early Neolithic water wells reveal the world's oldest wood architecture. *PloS one*, 7(12), e51374.
- Ważny, T., Lorentzen, B., Köse, N., Akkemik, Ü., Boltryk, Y., Güner, T., ... & Vasileva, J. K. (2014). Bridging the gaps in tree-ring records: creating a high-resolution dendrochronological network for Southeastern Europe. *Radiocarbon*, 56(4), S39-S50.

THE ANATOMY OF »BLUE RING« IN THE WOOD OF *PINUS NIGRA*ANATOMIJA »MODRE BRANIKE« V LESU ČRNEGA BORA *PINUS NIGRA*Alan Crivellaro<sup>1, 2\*</sup>, Marco Reverenna<sup>1</sup>, Flavio Ruffinatto<sup>1</sup>, Carlo Urbinati<sup>3</sup>, Alma Piermattei<sup>4</sup>

UDK 630\*811.49

Abstract / Izvleček

Original scientific article / Izvirni znanstveni članek

**Abstract:** Tree-ring features are widely used to identify specific climate, environment and stress events affecting plant life. Cold temperatures can mainly affect the last phase of cell differentiation by interfering in the process of cell wall lignin deposition. Recently, it was found out that the effect of cold temperature on lignification is visible in wood microsections double stained with astra blue which stains cellulose, and red safranin which stains lignin. This new tree-ring feature was called »blue ring«. In this study, we investigated the anatomical morphology of blue rings in transverse and longitudinal wood microsections of three European black pine trees (*Pinus nigra* Arnold) growing above the tree-line. We aim to understand if the lack of lignification is consistent along the entire tracheid length and whether or not pits, responsible for water transport from one tracheid to another, are lignified. The results show that the lack of lignification extends along the entire tracheids cell wall, including bordered pits. Based on our observations we speculate that blue ring occurrence decreases the safety of water transport and wood mechanical properties.

**Keywords:** lignification, tree ring, pointer year, cell wall, tracheids, pits

**Izvleček:** Lesno-anatomske posebnosti branik pogosto uporabljamo za ugotavljanje specifičnih dogodkov v zvezi s podnebjem, okoljem in stresom, ki jim je izpostavljeno drevo med rastjo. Med pomembnimi dejavniki so nizke temperature, ki lahko vplivajo na diferenciacijo lesa, predvsem na odlaganje lignina. Nedavno so ugotovili, da je učinek nizkih temperatur na potek lignifikacije viden na mikroskopskih preparatih lesa, ki jih dvojno obarvamo s safraninom (ki obarva lignin rdeče) in astra modrim (ki obarva celulozo modro). To novo anatomsko posebnost so poimenovali »modra branika«. V študiji smo raziskali anatomsko zgradbo modrih branik na prečnih in vzdolžnih (radialnih) prerezih lesa črnih borov (*Pinus nigra* Arnold), ki so rasli nad zgornjo gozdno mejo. Cilj raziskave je bil pojasniti, ali je pomanjkljiva lignifikacija vidna po celotni dolžini traheid in ali so obokane piknje, ključne za prevajanje vode, lignificirane. Rezultati kažejo pomanjkljivo lignifikacijo vzdolž traheid in v obokanih piknjah. Na osnovi rezultatov sklepamo, da pojav modre branike zmanjšuje varnost transporta vode in vpliva na slabše mehanske lastnosti lesa.

**Ključne besede:** lignifikacija, branike, značilno leto, celična stena, traheide, piknje

## 1 INTRODUCTION

### 1 UVOD

Tree growth rate and xylem anatomical structure strongly depend on phylogeny, climate and local growing conditions (Schweingruber, 2007). Extreme climatic or environmental events are recorded in tree rings and are detectable in the wood structure (Wimmer, 2002). Bräuning et al. (2016) reviewed all tree-ring features visible in dendrochronological samples (e.g. missing rings, frost rings,

light rings, reaction woods, resin ducts) and suggested for each one an explanation of possible triggering factors. De Micco et al. (2016) focused on intra-annual density fluctuations (IADFs) reviewing how, when, where and why they are formed in tree rings of both hardwood and softwood species. Overall, these studies highlight the possibilities and the need to better understand the effects of climate and environment at intra-annual growth-ring level. Qualitative (Schweingruber, 2007; Schweingruber et al., 2013) and quantitative (von Arx et al., 2016) wood anatomical analyses are ideal tools to infer the factors causing structural changes in wood, because the position of each cell within a tree ring is a time marker of its formation within the growing season.

Within this context, softwood species are more often studied thanks to their homogenous anatomi-

<sup>1</sup> Dept. Territorio e Sistemi AgroForestali, University of Padova, Viale dell'Università 16, 35020 Legnaro, PD, Italy

<sup>2</sup> CNR IVALSIA, Sesto Fiorentino, Italy

\* e-pošta: [alancrivellaro@gmail.com](mailto:alancrivellaro@gmail.com)

<sup>3</sup> D3A, Marche Polytechnic University, Italy

<sup>4</sup> Dept. of Geography, University of Cambridge, UK

cal structure (Evert, 2006). In a softwood transverse section, tracheids, radial and axial parenchyma cells are visible (Richter et al., 2004). Size, shape and distribution of these cells are usually investigated on transversal microsections (Carrer et al., 2016), however tangential and radial longitudinal sections are better suited to understand the three dimensional structure of wood as well as to visually separate wood cell types (Greguss, 1955; Schweingruber, 1978), and to quantify specific anatomical traits (Fonti et al., 2015; Lazzarin et al., 2016). Moreover, specific cell wall staining can inform about its chemical composition (Srebotnik & Messner, 1994): a double staining mix of red Safranin and Astra blue for instance highlights lignin and cellulose presence at once (Gärtner & Schweingruber, 2013). With such staining in a softwood microsection we expect to detect red-stained tracheid cell walls and blue-stained sapwood parenchyma cell walls (Schweingruber & Börner, 2018).

In a study on European black pine (*Pinus nigra* Arnold) growing above the forest line in the central Apennines (Italy), Piermattei et al. (2015) showed that some of the last formed latewood cells stained blue, as a result of an incomplete lignification process. This new anatomical feature was defined as 'blue ring': a continuous layer of unlignified axial tracheids occurring either in the earlywood or in the latewood (Piermattei et al., 2015). Recent technical improvements in the preparation of micro sections of entire increment cores (Gärtner et al., 2015), fostered the detection of blue rings (e.g. Carrer et al., 2016). A recent study conducted on several coniferous species in western North America used frost rings and blue rings to investigate adaptation of trees to cold climate, highlighting the presence of an environmental effect on cell wall lignification (Montwé et al., 2018).

Lignification is the last phase in the xylogenesis process. Xylem formation and tracheid differentiation in conifers are commonly divided in four stages: cambial cell division and post-cambial enlargement of the daughter cells; formation of multi-layered cell walls by polysaccharides macromolecules; deposition of lignin within the cell wall polysaccharides matrix; cell death and autolysis of the protoplasm. Various environmental factors such as temperature (Donaldson, 1992; Gindl et al., 2000, Gričar et al., 2005, 2006), day length (Gindl & Grabner 2000),

drought stress (Donaldson, 2002), and genetics (Donaldson, 1993) strongly influence cell wall lignification. Piermattei et al. (2015) in their study attributed the blue ring occurrence in the lastly formed latewood cells to temperature drop at end of the local growing season (end of October). However, other issues about blue rings still need to be investigated: i) does the lack of lignification involve other cell types besides axial tracheids? ii) is the blue ring consistent along all tracheids' length? iii) are bordered pits unlignified also in blue rings? iiiii) what are the possible implications in tracheids' mechanical properties, conduction efficiency and embolism safety?

Here we provide some preliminary answers by investigating the morphology of blue rings in transverse and longitudinal sections of European black pine in order to assess the blue ring consistency both across different cell types and within the same cell. Our results suggest that the blue ring occurrence can affect the hydraulic and mechanical properties of wood.

## 2 MATERIALS AND METHODS

### 2 MATERIAL IN METODE

To compare the anatomy and cell wall lignification in tracheid of lignified and unlignified rings, we investigated nine growth rings of three European black pine trees growing above the forest line on Mount Sirente (2348 m a.s.l., 42°15'N - 13°60'E) in the central Apennines. The age, height and DBH of investigated trees at the sampling time (2012), ranged from 17 to 19 years, 2.25 to 3.2 m and 14 to 19 cm respectively. Increment cores were extracted near the stem base of the trees with a 10 cm long borer. The blue rings occurred in 2006, 2007 and 2009.

A Reichert sliding microtome has been used to cut thin sections from the three cores. Cross sections were cut upon application of a 10:8:7 mixture of corn starch, water and glycerol to avoid mechanical damage to cellular structure (Schneider & Gärtner, 2013). Longitudinal sections were cut at 15-25 micrometres in thickness to ensure the best visibility of minute anatomical features.

All sections were bleached with sodium hypochlorite (60%), stained in a mixture of Safranin and Astra blue (1 g of Safranin powder in 100 ml of distilled water; 0.5 g of Astra blue powder and 2 ml of acetic acid in 100 ml of distilled water; 1:1 ratio),



dehydrated with an ethanol series (50%, 75%, 96%), treated with the clearing agent Bioclear and permanently mounted with Eukitt (Bio-Optica). Light microscopy observations were carried out on a Nikon microscope (Eclipse 80i, Nikon, Tokio, Japan), and images were recorded with a high-resolution camera (2.07 pixels/ $\mu\text{m}$ ) mounted on the same microscope.

Wood anatomical descriptions followed the IAWA list of microscopic features for softwood identification (Richter et al., 2004). Anatomical features of the blue rings were compared to the ones of adjacent growth rings. Results are presented in a descriptive form, while Table 1 highlights the observed differences.

### 3 RESULTS

#### 3 REZULTATI

On sanded transverse sections, growth rings are macroscopically visible thanks to an abrupt change in colour intensity from the lighter earlywood to the darker latewood (Ruffinatto et al., 2015). The blue rings did not show any macroscopic difference compared to previous and following rings

(Piermattei et al. 2015), the color difference between earlywood and latewood is not affected by the presence of a blue ring. To this respect, blue rings differ from the so-called light rings, featuring a latewood zone with thin-walled cells, macroscopically detected in trees at northern and subalpine treelines (Filion et al., 1986; Montwé et al., 2018).

A microscopic transverse view of blue ring tracheids (Fig. 1; Tab. 1) showed blue-stained inner cell wall layers, as opposed to the red-stained fully lignified tracheid cell walls in regular rings (Fig. 1A). Unlignified cell wall areas usually include the layers towards the cell lumen only (Fig. 1C), rarely extending towards the middle lamella (Fig. 1C). In the most extreme cases where lignification lacks, the red-stained areas are located near the tracheid corners (Fig. 1D). Although the single cell wall layers (M, P, S1, S2, S3, Tab. 1) normally cannot be differentiated by using light microscopy (Prislan et al., 2009) we interpreted the outermost cell wall layers M, P and S1 as one cell-wall complex, while S2 and S3 were easier to distinguish due to the higher thickening of S2 compared to S3.

Blue ring axial tracheids appear also in longitudinal radial sections with different degrees of ligni-

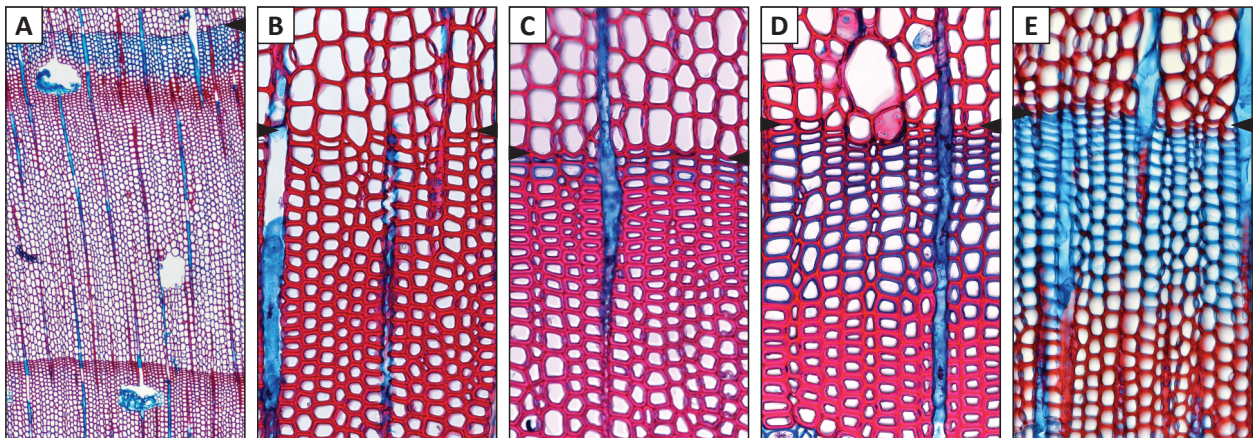


Figure 1. Cross sections of different European black pine (*Pinus nigra* Arnold) trees. (A) complete tree ring with a blue ring; (B) standard latewood and (C-E) blue rings with (C) few axial tracheids lacking lignin only in the innermost wall layer; (D) with a larger number of tracheids partly lacking lignification and (E) last formed unlignified tracheids, with lignin present only at cell corners. Black arrows indicate tree-ring boundaries.

Slika 1. Prečni prerezi lesa različnih dreves črnega bora (*Pinus nigra* Arnold). (A) izgotovljena branika z modrim pasom; (B) običajen kasni les ter (C-E) modre branike. (C) v nekaj zadnjih traheidah branike je lignifikacija delno izostala v notranjih slojih celične stene, (D) lignifikacija je delno izostala v širšem pasu traheid ter (E) zadnje nastale traheide so v splošnem nelignificirane, nekaj lignina je le v celičnih vogalih. Črne puščice kažejo letnice.

fication (Fig. 2 A-D) from fully lignified (Fig. 2A), to partially lignified where only innermost cell wall layer is lacking lignin (Fig. 2B), to larger number of cells included in the blue ring (Fig. 2C). Bordered pits of axial tracheids in blue ring show unligified pit borders (Fig. 2C; 2D), as opposed to fully lignified bordered pits in standard wood. In the observed samples the torus is always non-lignified.

As opposed to axial tracheids, blue ring ray tracheids do not show any difference compared to standard ones. The same holds true for ray parenchyma cell walls that are normally not lignified and stain blue.

#### 4 DISCUSSION

#### 4 RAZPRAVA

Our results show that the reduced lignification occurring in blue rings concerned axial tracheids and their bordered pits, but not parenchyma ray cells,

nor radial tracheids. This xylogenetic phenomenon can be related to decreasing temperature during the cell maturation phase (Piermattei et al., 2015). The consequences of unligified axial tracheids in blue rings deserve further analysis because they can affect their hydraulic and mechanical properties.

The hydraulic function of conifer tracheids provides water transport under strong negative pressure and limit cavitation spread over the sapwood (Choat et al., 2008; Pittermann et al., 2006). A quantification of the strength of axial tracheids cell walls is provided by the thickness-to-span ratio (Hacke et al., 2001). However, this index implicitly assumes that cell wall mechanical properties are constant, which is not the case for unligified cell walls in which the lack of lignin decreases their rigidity and strength (Voelker et al., 2011). Therefore, unligified cell walls in the blue rings may increase the probability of mechanical failure under the negative pressure needed for water transport from the soil to the leaves.

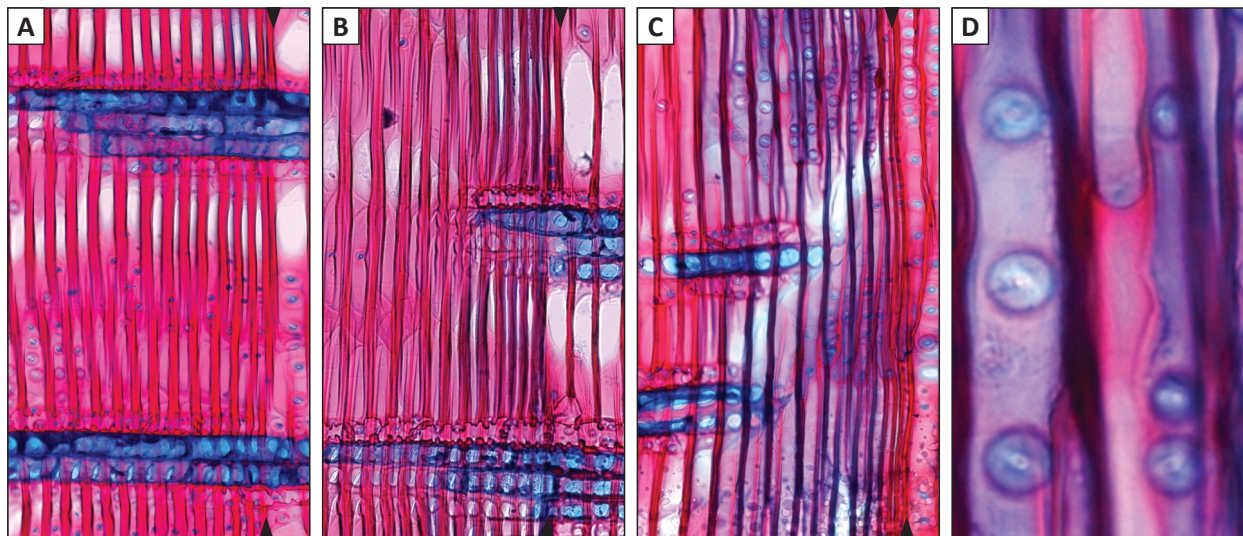


Figure 2. Longitudinal radial wood sections of different European black pine (*Pinus nigra* Arnold) trees (A, B, and C) showing different degrees of lignification; (A) completely lignified tracheids with latewood tracheids stained red, torus of axial tracheids bordered pits unligified (blue stained), parenchyma cells of the rays unligified (blue stained); (B) decreasing lignification towards the formed last axial tracheids; (C) larger number of unligified tracheids; (D) bordered pits of unligified axial tracheids (at larger magnification). Black arrows indicate tree-ring boundaries.

Slika 2. Vzdolžni radialni prerezi lesa različnih dreves črnega bora (*Pinus nigra* Arnold) (A, B in C) z različno stopnjo lignifikacije celic. (A) popolnoma lignificirano tkivo, kjer so traheide kasnega lesa obarvane rdeče, torusi obokanih pikelj aksialnih traheid so nelignificirani (modri), parenhimske celice trakov pa so nelignificirane in obarvane modro; (B) stopnja lignifikacije upada v smeri proti zadnjim aksialnim traheidam v braniki, (C) večje število nelignificiranih traheid; (D) obokane piknje nelignificiranih aksialnih traheid pri večji povečavi. Črne puščice kažejo letnice.



*Table 1. Observed anatomical features on double stained transverse and longitudinal sections of Pinus nigra wood in regular and blue rings.*

*Preglednica 1. Anatomske znake na dvojno obarvanih prečnih in vzdolžnih prerezih lesa normalnih in modrih branik črnega bora (Pinus nigra).*

Anatomical feature		Regular tree ring	Blue ring	Figures
<b>Axial tracheid cell wall layers</b>	Middle lamella - M	Lignified	From lignified to partially unlignified	Fig. 1D
	Primary wall - P	Lignified	From lignified to unlignified	Fig. 1D
	Secondary wall - S1	Lignified	From lignified to unlignified	Fig. 1D
	Secondary wall - S2	Lignified	From lignified to unlignified	Fig. 1C, 1D
	Secondary wall - S3	Lignified	Unlignified	Fig. 1B, 1C, 1D
<b>Bordered pits in axial tracheids</b>	Pit borders	Lignified	From lignified to unlignified	Fig. 2C, 2D
	Torus	Present, disc-shaped, unlignified	Present, disc-shaped, unlignified	Fig. 2D
	Tracheid pitting in radial wall in earlywood and in latewood	Uniseriate	Uniseriate	Fig. 2A
<b>Ray tracheids</b>	Ray tracheids	Present, lignified	Present, lignified	Fig. 2B, 2C
	Pit borders	Lignified	Lignified	Fig. 2B, 2C
	Torus in ray tracheids	Present, unlignified	Present, unlignified	Fig. 2C
	Indentures on cell walls of ray tracheids	Present, lignified	Present, lignified	Fig. 2B, 2C
<b>Ray parenchyma cells</b>	Cell walls of ray parenchyma cells	Unlignified	Unlignified	Fig. 2A, 2B, 2C

Bordered pits are canals in the secondary cell walls of xylem tracheids with a pit border, composed of secondary wall that overhangs and partially encloses the pit cavity (Beck, 2010). The primary walls and intervening middle lamellae of two opposing cells make up the pit membrane, which lies in the centre of the pit pair (Choat et al., 2008; Li et al., 2016). In most conifers, the pit membrane has two distinct regions. The central region consists of a lenticular thickening, called the torus, which is considered impermeable, while the outer region of the membrane, the margo, is porous and permeable to xylem sap. Pits' features greatly affect cavitation resistance of connected tracheids (Jansen et al., 2012). In fact, unlignified pit border may weaken the bordered pits to the point that their ability to limit spread of cavitation to adjacent cells might be reduced or even compromised. In fact, to be fully functional, the pit border and the torus should seal together, enclosing the air bubble within a limited number of tracheids (Domec et al., 2006; Delzon et

al., 2010). In the analysed samples blue rings occurred in the latewood portion, where the hydraulic function is less important (Domec & Gärtner, 2002). However, Piermattei et al. (2015) found blue rings located also in earlywood where the effects on sap uplift efficiency and safety can be more relevant (Carrer et al., 2016).

Softwoods' mechanical properties are known to be very high in relation to their density (FPL, 2010) due to their unique anatomical structure and to their cell wall composition. The reduced lignification observed in blue rings could negatively affect wood mechanical strength. The occurrence of blue rings could be envisaged as a spot of structural weakness in tree stems as well as in timber. Unfortunately, blue rings cannot be easily detected in timber, but their effect might be visible as ring-shakes, which are known to occur in some softwood species and have been attributed to cold events (Laacke, 1990).

It is not so evident why wood formation ends so early in the growing season, especially in cold envi-

ronments such as at high elevation. Previous studies showed that maturation and lignification of last formed axial tracheids in the current year tree ring is completed much later than the end of cambial production of wood are recorded (Gričar et al., 2014; Schmitt et al., 2003). Our observations show that early ending of wood production leaves enough time to complete cell wall differentiation up to full lignification, before air temperatures decrease significantly, withdrawing lignin deposition. In this way, there is a sufficient amount of time for cell walls to build a hydraulically and mechanically efficient wood.

## 5 CONCLUSION

### 5 SKLEP

The effects of climate change on woody plants include a wide variety of consequences and interactions. As climate warming and changing phenology interact with increasing temperature variability, frost damage is expected to keep being an issue in the future (Montwé et al., 2018). Our study on blue ring anatomy pointed out the important consequences of a lack of lignification caused by an abrupt cold event (Piermattei et al., 2015) with lower temperatures affecting new-formed xylem cells in the final stage of lignification. Such consequences involve both hydraulic functioning of the plant and mechanical properties of its wood, and therefore timber. Further analyses are needed to quantify the loss of hydraulic efficiency in trees with blue rings.

## 6 SUMMARY

### 6 POVZETEK

Rast dreves in anatomija lesa sta odvisna od fitogenije, podnebja in rastiščnih razmer. Ekstremni klimatski ali okoljski dogodki se zabeležijo v anatomskih posebnostih lesa in jih je mogoče prepoznati pod mikroskopom. Kvalitativne in kvantitativne lesno-anatomske raziskave omogočajo prepoznavanje dejavnikov, ki povzročajo strukturne spremembe v lesu, z določitvijo njihovega položaja v branikah pa je mogoče ugotoviti, kdaj (v katerem letu in sezoni) so nastale. Položaj posamezne celice znotraj branike zato predstavlja časovni mejnik nastanka lesa oz. posameznega znaka v rastni sezoni. Les iglavcev je zaradi homogene atomske zgradbe v tem pogledu boljše raziskan kot les listavcev. Poleg beleženja po-

sebnih struktur na nivoju celic in tkiv lahko spremljamo tudi posebnosti celične stene. Dvojno barvanje z barviloma safranin, ki obarva lignin rdeče, in astra modro, ki obarva celulozo modro, v lesno-anatomski praksi uporabljamo za oceno kemijske zgradbe celične stene. Dve barvili uporabimo zaporedno ali hkrati in tako na istem preparatu poudarimo prisotnost lignina in celuloze.

V predhodnih raziskavah lesa črnega bora (*Pinus nigra* Arnold), iz dreves, ki rastejo nad gozdno mejo v osrednjih Apeninih v Italiji, so zabeležili, da se je nekaj nazadnje oblikovanih traheid v braniki obarvalo modro, kar nakazuje nepopolno lignifikacijo celičnih sten. To novo anatomsko posebnost, kjer se pas lesa v braniki obarva modro, so poimenovali »modra branika« (ang. blue ring). Modra branika torej vsebuje strnjen sloj pomanjkljivo lignificiranih aksialnih traheid, ki se lahko pojavijo v ranem ali kasnem lesu (Piermattei et al., 2015). Pojav, ki ga ne vidimo s prostim očesom ali lupo (makroskopsko), je bil doslej raziskan predvsem na mikroskopskih preparatih prečnih prereзов.

V tem prispevku prvič predstavljamo morfolgijo modrih branik na prečnih in vzdolžnih (radialnih) prerezech lesa črnega bora, da bi ocenili prostorsko porazdelitev modrih nepopolno lignificiranih območij v tkivih in posameznih celicah. V ta namen smo raziskali devet modrih branik iz debel treh dreves črnega bora, ki so rasla nad zgornjo gozdno mejo na gori Monte Sirente v osrednjih Apeninih. Izdelali smo preparate vzdolžnih (radialnih in tangencialnih) prerezech modrih in normalnih branik. Preparate smo obarvali v mešanici barvil safranin in astra modro, da bi ločili lignificirane in nelignificirane celice. Celice in tkiva v modrih branikah so bila anatomsko podobna tistim v sosednjih branikah, razlike so bile samo v stopnji lignifikacije. Naši rezultati kažejo, da je pomanjkljiva lignifikacija v modrih branikah značilna za aksialne traheide in njihove obokane piknje, ne pa za parenhimske celice trakov (ki so po naravi manj lignificirane) in za trakovne traheide.

Naši rezultati nakazujejo tudi najverjetnejše posledice pojava modrih branik (oz. pomanjkljive lignifikacije) za hidravlične in mehanske lastnosti lesa. Nelignificirane aksialne traheide so manj trdne, zato obstaja nevarnost porušitve traheid zaradi tenzije vodnih stolpcev, povezane s prevajanjem vode. Slednje bi lahko oviralo prevajanje vode v drevesu. Pomanjkljiva lignifikacija pikenjskih obokov bi lahko



zmanjšala možnost omejevanja kavitacij (širjenja zračnih mehurčkov), ki se lahko razširijo v sosednje celice in jih onesposobijo za prevajanje vode. Pomanjkljiva lignifikacija traheid tudi zmanjšuje trdnost lesa. Glede na navedeno menimo, da modre branike najverjetneje predstavljajo šibka mesta v lesu s hidravličnega in mehanskega vidika.

Modre branike žal niso vidne s prostim očesom ali lupo, zato jih v lesu ne prepoznamo kot napako ali možen vir napak. Vidimo lahko samo njihov učinek, saj vplivajo na nastanek napak kot so kolesivost (krožne razpoke), ki jih pri iglavcih pogosto štejejo za posledico nizkih temperatur.

Ker segrevanje podnebja in spreminjanje fenologije vplivata na vse večjo variabilnost temperature, pričakujemo, da bo v prihodnosti škoda zaradi zmrzali predstavljala vedno večji problem. Naša študija anatomije modrih branik nakazuje kakšne bi lahko bile posledice pomanjkljive lignifikacije, ki je posledica prekinitve procesa lignifikacije zaradi kratkotrajnih obdobij z izredno nizkimi temperaturami.

## AKNOWLEDGMENT

### ZAHVALA

We are thankful to two anonymous reviewers for their constructive comments and suggestions and to Prof. Dr. Katarina Čufar for handling the editorial process.

## LITERATURE

### LITERATURA IN VIRI

- Beck, C. B. (2010). An introduction to plant structure and development: plant anatomy for the twenty-first century. Cambridge University Press.
- Bräuning, A., De Ridder, M., Zafirov, N., García-González, I., Dimitrov, D. P., & Gärtner, H. (2016). Tree-ring features: indicators of extreme event impacts. *IAWA Journal*, 37(2), 206-231.
- Carrer, M., Brunetti, M., & Castagneri, D. (2016). The imprint of extreme climate events in century-long time series of wood anatomical traits in high-elevation conifers. *Frontiers in plant science*, 7, 683.
- Choat, B., Cobb, A. R., & Jansen, S. (2008). Structure and function of bordered pits: new discoveries and impacts on whole-plant hydraulic function. *New phytologist*, 177(3), 608-626.
- Delzon, S., Douthe, C., Sala, A., & Cochard, H. (2010). Mechanism of water-stress induced cavitation in conifers: bordered pit structure and function support the hypothesis of seal capillary-seeding. *Plant, Cell & Environment*, 33(12), 2101-2111.
- De Micco, V., Campelo, F., De Luis, M., Bräuning, A., Grabner, M., Battipaglia, G., & Cherubini, P. (2016). Intra-annual density fluctuations in tree rings: how, when, where, and why?. *IAWA Journal*, 37(2), 232-259.
- Domec, J. C., & Gärtner, B. L. (2002). How do water transport and water storage differ in coniferous earlywood and latewood?. *Journal of Experimental Botany*, 53(379), 2369-2379.
- Domec, J. C., Lachenbruch, B., & Meinzer, F. C. (2006). Bordered pit structure and function determine spatial patterns of air-seeding thresholds in xylem of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*; Pinaceae) trees. *American journal of botany*, 93(11), 1588-1600.
- Donaldson, L. A. (1992). Lignin distribution during latewood formation in *Pinus radiata* D. Don. *IAWA Bulletin* 13(4):381-387.
- Donaldson, L. A. (1993). Lignin distribution in wood from a progeny trial of genetically selected *Pinus radiata* D. Don. *Wood Science & Technology*, 27:391-395.
- Donaldson, L. A. (2002). Abnormal lignin distribution in wood from severely drought stressed *Pinus radiata* trees. *IAWA Journal*, 23:161-178.
- Evert, R. F. (2006). *Esau's plant anatomy: meristems, cells, and tissues of the plant body: their structure, function, and development*. John Wiley & Sons.
- Fiolion, L., Payette, S., Gauthier, L., & Boutin, Y. (1986). Light rings in subarctic conifers as a dendrochronological tool. *Quaternary Research*, 26(2), 272-279.
- Fonti, P., Tabakova, M. A., Kirilyanov, A. V., Bryukhanova, M. V., & von Arx, G. (2015). Variability of ray anatomy of *Larix gmelinii* along a forest productivity gradient in Siberia. *Trees*, 29(4), 1165-1175.
- Forest Products Laboratory. 2010. *Wood handbook—Wood as an engineering material*. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 508 p.
- Gärtner, H., & Schweingruber, F. H. (2013). *Microscopic preparation techniques for plant stem analysis*. Verlag Dr. Kessel.
- Gärtner, H., Banzer, L., Schneider, L., Schweingruber, F. H., & Bast, A. (2015). Preparing micro sections of entire (dry) conifer increment cores for wood anatomical time-series analyses. *Dendrochronologia*, 34, 19-23.
- Gindl, W., & Grabner, M. (2000). Characteristics of spruce [*Picea abies* (L.) Karst] latewood formed under abnormally low temperatures. *Holzforschung*, 54(1), 9-11.
- Gindl, W., Grabner, M., & Wimmer, R. (2000). The influence of temperature on latewood lignin content in treeline Norway spruce compared with maximum density and ring width. *Trees*, 14(7), 409-414.
- Greguss, P. (1955). *Identification of living gymnosperms on the basis of xylotomy*. Budapest, 263 p.
- Gričar, J., Čufar, K., Oven, P., Schmitt, U. (2005). Differentiation of terminal latewood tracheides in silver fir trees during autumn. *Annals of Botany* 95 (5), 959-965
- Gričar, J., Zupančič, M., Čufar, K., Koch, G., Schmitt, U., & Oven, P. (2006). Effect of local heating and cooling on cambial activity

- and cell differentiation in the stem of Norway spruce (*Picea abies*). *Annals of Botany*, 97(6), 943–951.
- Gričar, J., Prislán, P., Gryc, V., Vavrčik, H., de Luis, M., & Čufar, K. (2014). Plastic and locally adapted phenology in cambial seasonality and production of xylem and phloem cells in *Picea abies* from temperate environments. *Tree Physiology*, 34(8), 869–881.
- Hacke, U. G., Sperry, J. S., Pockman, W. T., Davis, S. D., & McCulloh, K. A. (2001). Trends in wood density and structure are linked to prevention of xylem implosion by negative pressure. *Oecologia*, 126(4), 457–461.
- Jansen, S., Lamy, J. B., Burlett, R., Cochard, H., Gasson, P., & Delzon, S. (2012). Plasmodesmatal pores in the torus of bordered pit membranes affect cavitation resistance of conifer xylem. *Plant, Cell & Environment*, 35(6), 1109–1120.
- Laacke, R. J. (1990). *Abies concolor* (Gord. & Glend.) Lindl. ex Hildebr. White fir. *Silvics of North America*, 1, 36–46.
- Lazzarin, M., Crivellaro, A., Williams, C. B., Dawson, T. E., Mozzi, G., & Anfodillo, T. (2016). Tracheid and pit anatomy vary in tandem in a tall *Sequoiadendron giganteum* tree. *IAWA Journal*, 37(2), 172–185.
- Li, S., Lens, F., Espino, S., Karimi, Z., Klepsch, M., Schenk, H. J., ... & Jansen, S. (2016). Intervessel pit membrane thickness as a key determinant of embolism resistance in angiosperm xylem. *IAWA Journal*, 37(2), 152–171.
- Montwé, D., Isaac-Renton, M., Hamann, A., & Spiecker, H. (2018). Cold adaptation recorded in tree rings highlights risks associated with climate change and assisted migration. *Nature communications*, 9(1), 1574.
- Piermattei A., Crivellaro A., Carrer M. & Urbinati C. (2015). The “blue ring”: anatomy and formation hypothesis of a new tree-ring anomaly in conifers. *Trees* 29: 613 – 620.
- Pittermann, J., Sperry, J. S., Hacke, U. G., Wheeler, J. K., & Sikkema, E. H. (2006). Inter-tracheid pitting and the hydraulic efficiency of conifer wood: the role of tracheid allometry and cavitation protection. *American Journal of Botany*, 93(9), 1265–1273.
- Prislán, 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, 482–490.
- Richter, H. G., Grosser, D., Heinz, I., & Gasson, P. E. (2004). IAWA list of microscopic features for softwood identification. *IAWA JI*, 25, 1–70.
- Ruffinatto, F., Crivellaro, A., & Wiedenhoef, A. C. (2015). Review of macroscopic features for hardwood and softwood identification and a proposal for a new character list. *IAWA Journal*, 36(2), 208–241.
- Schneider, L., & Gärtner, H. (2013). The advantage of using a starch based non-Newtonian fluid to prepare micro sections. *Dendrochronologia*, 31(3), 175–178.
- Schmitt, U., Grünwald, C., Gričar, J., Koch, G., Čufar, K. (2003). Wall structure of terminal latewood tracheids of healthy and declining silver fir trees in the Dinaric region, Slovenia. *IAWA Journal* 24 (1), 41–51
- Schweingruber, F. H. (2007). *Wood structure and environment*. Springer Science & Business Media.
- Schweingruber F. H. (1978). *Microscopic wood anatomy*. Swiss Federal Institute of Forestry Research.
- Schweingruber, F. H., & Börner, A. (2018). *The Plant Stem*. Springer
- Schweingruber FH, Börner A & Schulze ED. (2013). *Atlas of Stem Anatomy in Herbs, Shrubs and Trees*. Vol. 2. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.
- Srebotnik E., & Messner K. (1994). A simple method that uses differential staining and light microscopy to assess the selectivity of wood delignification by white rot fungi. *Applied and Environmental Microbiology*, 60: 1383–1386.
- Voelker, S. L., Lachenbruch, B., Meinzer, F. C., & Strauss, S. H. (2011). Reduced wood stiffness and strength, and altered stem form, in young antisense 4CL transgenic poplars with reduced lignin contents. *New Phytologist*, 189(4), 1096–1109.
- von Arx, G., Crivellaro, A., Prendin, A. L., Čufar, K., & Carrer, M. (2016). Quantitative wood anatomy—practical guidelines. *Frontiers in plant science*, 7, 781.
- Wimmer, R. (2002). Wood anatomical features in tree-rings as indicators of environmental change. *Dendrochronologia*, 20(1–2), 21–36.



## TEHNOLOŠKE LASTNOSTI IN UPORABNOST LESA VELIKEGA PAJESENA V PRIMERJAVI Z LESOM VELIKEGA JESENA

### TECHNOLOGICAL PROPERTIES AND USABILITY OF CHINESE SUMAC WOOD IN COMPARISON WITH ASH WOOD

Željko Gorišek<sup>1\*</sup>, Denis Plavčak<sup>1</sup>, Aleš Straže<sup>1</sup>, Maks Merela<sup>1</sup>

UDK 630\*812:630\*181.1:176.1 Ailanthus altissima

Izvleček / Abstract

Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

**Izveček:** Veliki pajesen (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) spada med najbolj invazivne tujerodne drevesne vrste v Evropi in pri nas. Zaradi velike obnovitvene moči se hitro širi, predvsem na golosekih, na opuščeni kmetijskih površinah ter ob prometnih poteh. Botanično se razlikuje od velikega jesena (*Fraxinus excelsior* L.), sicer pa nanj značilno spominja z izgledom drevesa kot tudi s strukturnimi lastnostmi lesa. Zaradi tega smo primerjalno analizirali vizualne, anatomske in nekatere fizikalne ter mehanske lastnosti obeh lesnih vrst. V vseh anatomskih ravninah smo potrdili značilno vizualno in barvnometrično podobnost obeh proučevanih lesov. Anatomsko se raziskani venčasto porozni lesni vrsti razlikujeta predvsem v velikosti in razporedu trahej ter parenhimskega tkiva. Lesova imata podobni gostoti, pajesen pa je bolj dimenzijsko nestabilen. Mehanske lastnosti lesa pajesena so le nekoliko slabše od tistih pri lesu velikega jesena. Določili pa smo 20 % manjšo upogibno togost ter povprečno 50 % nižjo trdoto lesa pajesena v primerjavi z lesom velikega jesena. Nasprotno pa je bila strižna trdnost pri pajesenu 30 % višja. Glede na ugotovljene lastnosti je les pajesena uporaben za predelavo v celulozo in papir, razne lesne plošče in delno za manj obremenjene konstrukcije, ki niso izpostavljene drastičnim klimatskim razmeram.

**Ključne besede:** les, veliki pajesen = *Ailanthus altissima*, veliki jesen = *Fraxinus excelsior*, anatomija lesa, fizikalne lastnosti, mehanske lastnosti, uporaba

**Abstract:** Chinese sumac (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) is one of the most invasive alien species in Europe, and also in Slovenia. Due to its great renewal power the species is spreading rapidly, especially in abandoned agricultural and forest areas and along the traffic routes. It is botanically different from the European ash (*Fraxinus excelsior* L.), but it has similar tree habitus as well as similar structural characteristics of the wood. For this reason, we analysed the visual, anatomical and some physical and mechanical properties of both wood species. In all anatomical planes, the typical visual and colorimetric similarity of both studied woods was confirmed. Anatomically both ring porous wood species differ mainly in size and distribution of vessels, axial parenchyma and ray tissue. Wood of both species has a similar density as well, but the Chinese sumac has greater shrinkage. Some of the mechanical properties are comparable, although Chinese sumac wood has a lower modulus of elasticity and hardness and greater shear strength than ash wood. We can recommend that the wood of Chinese sumac can be used for production of pulp and paper, various panels and partly for less loaded constructions, which are not exposed to drastic climatic variability.

**Keywords:** wood, Chinese sumac = *Ailanthus altissima*, European ash = *Fraxinus excelsior*, wood anatomy, physical properties, mechanical properties, end use

## 1 UVOD

### 1 INTRODUCTION

Veliki pajesen (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, družina *Simaroubaceae*) je med štirimi najbolj invazivnimi tujerodnimi drevesnimi vrstami v Evropi (Burch & Zedaker, 2003), in je tudi na seznamu inva-

zivnih vrst Ministrstva za okolje in prostor RS (Rastline – tujerodne invazivne, 2015) in Fitosanitarne uprave RS (Tujerodne invazivne ..., 2010). Zanimivo je poimenovanje drevesa, saj pri nas zasledimo tudi poimenovanje visoki pajesen ali navadni pajesen (Bioportal.si). Tako habitus drevesa kot tudi sam les sta nekoliko podobna velikemu jesenu (*Fraxinus excelsior* L., družina *Oleaceae*), v nadaljevanju jesen. Za *Ailanthus altissima* navajajo tudi ime visoki ajlant ali božje drevo, navezujoč se na izraz »ailanto« kar pomeni nebeško

<sup>1</sup> Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, SLO

\* e-pošta: [zeljko.gorisek@bf.uni-lj.si](mailto:zeljko.gorisek@bf.uni-lj.si)

drevo oz. drevo bogov – božje drevo. Od tod izhaja tudi angleško in nemško poimenovanje (tree of heaven, paradise tree, Götterbaum), pogosto pa ga zasledimo tudi pod imeni Chinese sumac ali stink tree, pa tudi false varnish tree, ghetto palm ali ch`ou ch`ou (Miller, 1990).

Veliki pajesen, v nadaljevanju pajesen, izhaja iz Kitajske in Moluških otokov, v Evropo so ga prinesli 1751. Prvi zapisi o gojenju v Sloveniji segajo v leto 1795 (Park Dol pri Ljubljani), kjer so ga gojili kot okrasno parkovno drevo. Ornamentalno olistanje ter videz drevesa sta pripomogla k priljubljenosti in hitremu širjenju po vrtovih in parkih. Nekaj desetletij kasneje so z njim pogozdovali opustela industrijska področja, rudniške izkope in kontaminirane pokrajine, pri nas pa tudi gole kraške površine (Anko, 1984a, 1984b). Uspeva tako na severni in južni polobli, med zemljepisnima širinama 22° in 43° (Feret, 1985). Zaradi generativnega in vegetativnega razmnoževanja je širjenje pajesena v naravnem okolju pogosto nekontrolirano (podivjano) (Brus et al., 2016).

Prilagodljivost in invazivno širjenje pajesena se izraža v hitrem odzivu na večje spremembe v sestojni klimi, intenzivni višinski rasti - tudi do 4 m na leto (Burch & Zedaker, 2003), izrazitem vegetativnem pomlajevanju in obilnem semenenju z dve- do triletno kaljivostjo semena (Feret, 1973). Pajesen izkazuje tudi večjo odpornost na saje, prašne delce in druge oblike onesnaževanja, vendar je občutljiv na višje koncentracije ozona (Gravano et al., 2003). Hitro oblikuje goste čiste sestoje, kar onemogoča pomlajevanje drugih vrst, ker v tla izloča tudi alelopatске snovi (Heisey, 1990), ki preprečujejo kaljenje in rast drugih vrst. Slednje vpliva na vrstno sestavo (biotsko raznovrstnost) in zmanjšuje konkurenčnost domačih vrst (Roženberger et al., 2017).

V Sloveniji se je pajesen najbolj razširil na Primorskem, kjer so ga zaradi velike obnovitvene moči in potenciala za širjenje na različnih rastiščih v 19. stoletju začeli vnašati v naravno okolje, danes pa se žal širi nenadzorovano (Brus et al., 2016). Drugod ga običajno zasledimo v bolj urbanih okoljih. Razrašča se tudi na posekah, po opuščeni kmetijskih površinah, ob prometnih poteh, na opuščeni industrijskih površinah in celo v skalnih ali zidnih razpokah.

Zgradba lesa pajesena je lahko zelo variabilna, saj zaradi prilagodljivosti nastaja v najrazličnejših okoljih in razmerah za rast. Venčasto porozna struk-

tura je zelo podobna kot pri lesu jesena, s povprečnim premerom trahej približno 230 µm v ranem lesu in 41 µm v kasnem lesu (Kudela & Mamonova, 2006). Na odprtem je priraščanje lahko zelo intenzivno, z letnimi prirastnimi plastmi, širokimi do 20 mm (Panayotov et al., 2011). Debla vsebujejo veliko juvenilnega lesa z opaznimi rastnimi napestmi, kar zahteva več previdnosti pri sušenju, saj se les znatno zvija in koriti. Pomanjkljivosti juvenilnega lesa so tudi manjša trdnost in dimenzijska nestabilnost, zato ga ne priporočajo za zahtevne izdelke. Večinoma razvrščajo pajesen med vrste z nekoliko slabšimi mehanskimi lastnostmi, čeprav Becker (2009) poroča o primerljivih vrednostih z javorjem, hrastom, jesenom in brezo. Tudi ameriški raziskovalci (Alden, 1995; Moslemi & Bhagwat, 1970) lastnosti in uporabnost pajesena primerjajo s srednje gostimi listavci, enako potrjuje tudi širša raziskava, opravljena na Kitajskem (Zhu et al., 2015).

V avtohtonem življenjskem prostoru na Kitajskem je v gospodarstvu vsestransko uporaben, pogosto pa se uporablja še za lesno kašo, kot kurivo, za pridobivanje oglja, pa tudi kot gradbeni les in za izdelavo palet. Listje in skorjo pajesena ponekod uporabljajo tudi za gojenje sviloprejk (Hu, 1979), za hrano drobnici (Azim et al., 2002) ali za farmacevtske namene (c.f. Kožuharova et al., 2016).

Za zahtevnejše izdelke je uporaba lesa pajesena omejena zlasti zaradi velikega deleža juvenilnega lesa in prisotnosti tenzijskega lesa (Kudela et al., 2006).

Pajesen na naš veliki jesen spominja po imenu, podoben pa mu je tudi po videzu drevesa in zgradbi lesa. Botanična različnost in navidezna podobnost obeh vrst sta razloga, da smo si zadali cilj, da proučimo njun les z vidika mikroskopske zgradbe ter fizikalno-mehanskih karakteristik. Določene lastnosti pajesena so sicer znane iz literature, ker pa so rastiščni pogoji pajesena v našem okolju povsem drugačni kot na izvornih rastiščih, predpostavljamo, da se rastni pogoji zrcalijo tudi v različnih fizikalno-mehanskih karakteristikah.

## 2 MATERIAL IN METODE

### 2 MATERIAL AND METHODS

Les velikega pajesena (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle), ki je bil izbran za raziskavo, izvira iz rastišč na območju Mestne občine Ljubljana in je bil posekan v okviru aktivnosti na projektu APPLAUSE



(APPLAUSE ..., 2017). Drevesa so rasla samostojno v parkih in vrtovih z značilnostmi samostoječih dreves. Les pajesena smo makroskopsko identificirali z vizualnim prepoznavanjem karakterističnih anatomskih znakov, mikroskopsko zgradbo pa smo podrobno proučili na preparatih vseh treh anatomskih ravnin. Anatomske znake smo pregledali s svetlobnim mikroskopom (Nikon Eclipse E800) in vrstičnim elektronskim mikroskopom (Quanta 250). Anatomske znake pajesena smo določili s ključem IAWA (IAWA committee, 1989) in jih primerjali z znaki jesena.

Barvno primerjavo med lesom pajesena in jesena smo izvedli s CIE L\* a\* b\* standardizirano barvnometrično analizo (SIST EN ISO 11664-4, 2011) na spektrofotometru X-Rite SP 62.

Proučili smo tudi radialne profile gostote in lesne vlažnosti. Iz svežih radialno orientiranih desk, izžaganih takoj po poseku dreves, smo izdelali prizme, ki smo jih v radialni smeri razsekali na 5 do 10 mm široke preizkušance. Po natančno določeni oddaljenosti od kambija smo preizkušancem izmerili maso in volumen v svežem in absolutno suhem stanju ter izračunali gostoto v absolutno suhem stanju (En 1) in vlažnost svežega lesa (En 3). Proučevani les je bil odvzet iz treh dreves z višine okoli dveh metrov nad tlemi, s premeri 27 cm, 30 cm in 42 cm in s 16, 29 in 39 branikami. Glede na starost in dimenzije je bil pričakovani delež juvenilnega lesa velik.

Preizkušance za proučevanje osnovnih fizikalno mehanskih lastnosti pajesena smo izdelali iz izbranih orientiranih radialnih desk, ki smo jih predhodno tehnično posušili v normalno-temperaturni konvekcijski sušilni komori. Ciljna vlažnost sušilnega postopka je bila 12 %, kar je bilo primerno vlažnostno stanje za pripravo materiala za nadaljnje preizkušanje.

Iz vsake deske smo izžagali po dva pravilno orientirana vzorca kvadratnega prereza (20 mm x 20 mm) in dolžine 600 mm (Slika 1), jih uravnovesili v normalni klimi (20 °C/65 %) in razžagali na standardne dolžine za določanje izbranih fizikalnih in mehanskih lastnosti (Preglednica 1).

Preizkušance za merjenje gostote in krčenja smo previdno osušili na absolutno suho stanje (pri 103 °C do konstantne mase), jih stehali (natančno na ± 0,001 g) in izmerili dimenzije (natančno na ± 0,01 mm). Nato smo preizkušance potopili v vodo in navlažili nad točko nasičenja celičnih sten ter tehtanje in merjenje dimenzij ponovili. Iz podatkov smo izračunali gostoto v absolutno suhem stanju (En 1)

in osnovno gostoto (En 2) kot tudi volumenski (En 4) ter vse tri linearne skrčke (En 5). Iz gostote in volumenskega skrčka smo izračunali tudi vlažnost točke nasičenja celičnih sten (En 6).

$$\text{Gostota v absolutno suhem stanju} \quad \rho_0 = \frac{m_0}{V_0} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (1)$$

$$\text{Osnovna gostota} \quad R = \frac{m_0}{V_{vl}} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (2)$$

$$\text{Vlažnost lesa} \quad u = \frac{m_{vl} - m_0}{m_0} \times 100 \quad [\%] \quad (3)$$

$$\text{Volumenski skrček} \quad \beta_v = \frac{V_{vl} - V_0}{V_{vl}} \times 100 \quad [\%] \quad (4)$$

$$\text{Linearni skrčki - radialni, tangencialni, vzdolžni} \quad \beta_{R,T,L} = \frac{l_{vl,R,T,L} - l_{0,R,T,L}}{V_{vl,R,T,L}} \times 100 \quad [\%] \quad (5)$$

$$\text{Vlažnost točke nasičenja celičnih sten} \quad u_{TNCS} = \frac{\beta_v \times \rho_{vode}}{R} \quad [\%] \quad (6)$$

Veličine v enačbah od 1 do 6 pomenijo:

- $m_0$  masa v absolutno suhem stanju [kg],
- $m_{vl}$  masa pri vlažnosti nad točko nasičenja celičnih sten [kg],
- $V_0$  volumen v absolutno suhem stanju [m<sup>3</sup>],
- $V_{vl}$  volumen pri vlažnosti nad točko nasičenja celičnih sten [m<sup>3</sup>],
- $L_{0,R,T,L}$  dimenzije v absolutno suhem stanju v radialni (R), tangencialni (T) ali vzdolžni (L) smeri [m],
- $L_{vl,R,T,L}$  dimenzije pri vlažnosti nad točko nasičenja celičnih sten v radialni (R), tangencialni (T) ali vzdolžni (L) smeri [m] in
- $\rho_{vode}$  gostota v celične stene vrinjene vezane vode [kg/m<sup>3</sup>].

Mehanske lastnosti smo testirali na preizkušanjih, ki so bili pred meritvami uravnovešeni v normalni klimi (20 °C/65 %). Upogibno trdnost in statični modul elastičnosti, strižno trdnost ter tlačno trdnost smo preizkušali v vseh treh anatomskih smereh po standardnih metodah (Preglednica 1), le dinamični modul elastičnosti ( $E_d$ ) smo določili z nedestruktivno metodo s prečnim upogibnim vzbujanjem prosto ležečih preizkušancev in zaznavanjem frekvenčnega odziva (Gorišek et al., 2016).



Slika 1. Priprava preizkušancev velikega pajesena za merjenje izbranih fizikalnih in mehanskih lastnosti.

Fig. 1 Samples of *Ailanthus altissima* wood prepared for determination of selected physical and mechanical properties.

Preglednica 1. Oznake in dimenzije preizkušancev za merjenje fizikalnih in mehanskih lastnosti velikega pajesena po standardnih metodah.

Table 1. Dimensions and methods used for determining selected physical and mechanical properties of *Ailanthus altissima* wood.

Št. No.	Dimenzije Dimensions [mm]	Oznaka Symbol	Fizikalno-mehanska lastnost Physical-mechanical property	Metode Methods
1	20 × 20 × 20	$\rho$	Gostota/ Density	ISO 13061-2:2014
2	20 × 20 × 20	$u$	Vlačnost lesa/ Moisture content	ISO 13061-1:2014
3	20 × 20 × 20	$\beta$	Skrčki/ Shrinkage	ISO 13061-13:2017; ISO 13061-14:2017; ISO 13061-15:2017; ISO 13061-16:2017
4	340 × 20 × 20	$E_d$	Dinamični modul elastičnosti/ Dynamic modulus of elasticity	Gorišek et al. 2016
5	340 × 20 × 20	$E_s$	Modul elastičnosti/ Modulus of elasticity	ISO 13061-4:2014
6	40 × 20 × 20	$\sigma_{x  }$	Tlačna trdnost – vzdolžno/ Compression strength - longitudinal	ISO 13061-17:2014
7	20 × 20 × 20	$\sigma_{x\perp LT}$	Tlačna trdnost – tangencialno/ Compression strength - tangential	ISO 13061-5:2014
8	20 × 20 × 20	$\sigma_{x\perp LR}$	Tlačna trdnost – radialno/ Compression strength - radial	ISO 13061-5:2014
9	20 × 20 × 20	$\tau_{PL}$	Strižna trdnost - LR/ Shear strength - LR	ISO 3347-1976
10	20 × 20 × 20	$\tau_{LT}$	Strižna trdnost LT/ Shear strength - LT	ISO 3347-1976
11	20 × 20 × 20	$HB_P$	Trdota P-ravnina/ Hardness - cross section	ISO 13061-12:2014
12	20 × 20 × 20	$HB_T$	Trdota T-ravnina/ Hardness - tangential section	ISO 13061-12:2014
13	20 × 20 × 20	$HB_R$	Trdota R-ravnina/ Hardness - radial section	ISO 13061-12:2014

Rezultate meritev fizikalnih in mehanskih lastnosti pajesena iz rastišč na območju Mestne občine Ljubljana smo v nadaljevanju primerjali z lastnostmi jesena (*Fraxinus excelsior* L.), ki smo jih zbrali iz arhiva Katedre za tehnologijo lesa (Gorišek, 1992; Možina, 1969) in iz relevantne svetovne literature (npr. Wagenführ & Scheiber, 1989).

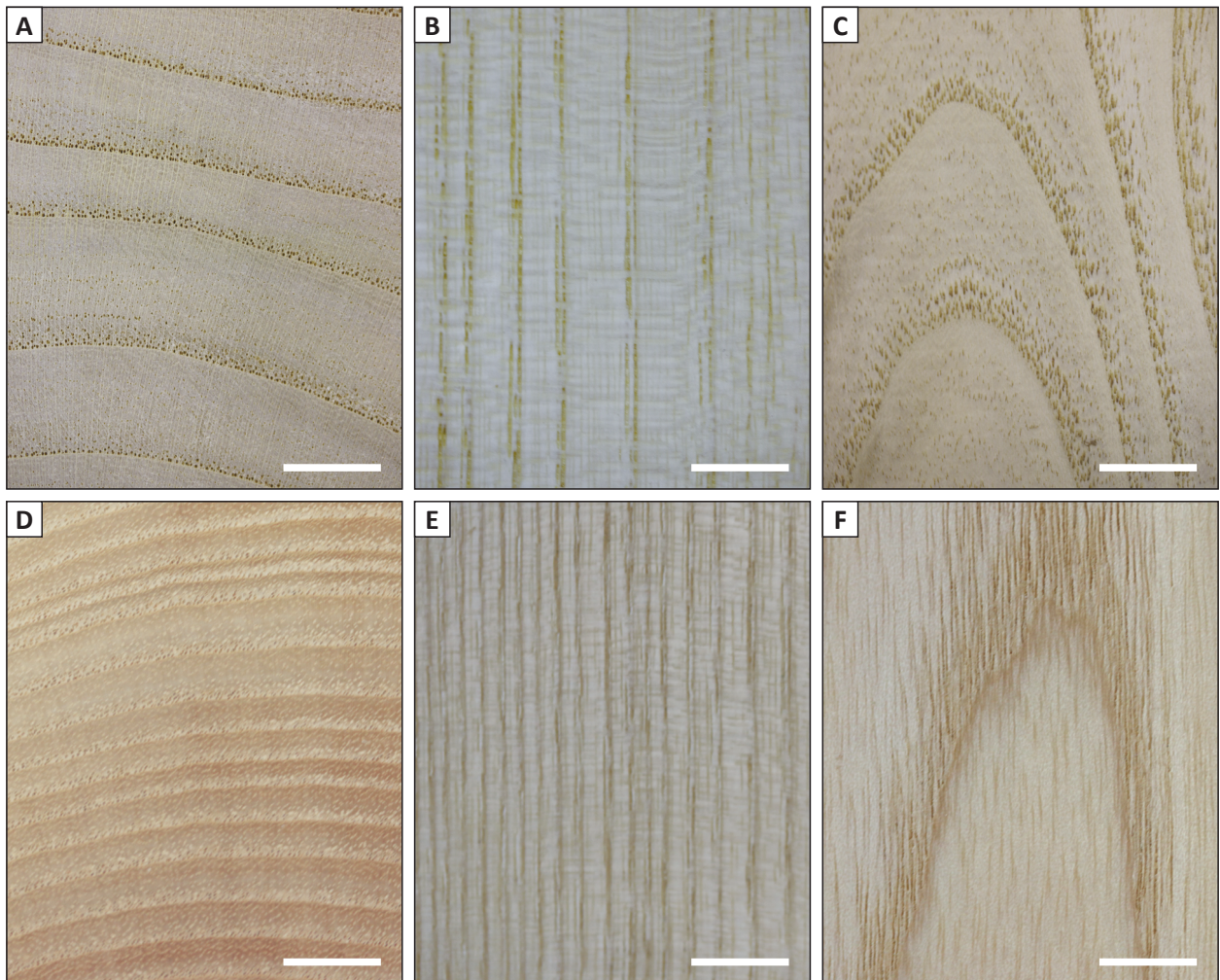
### 3 REZULTATI IN RAZPRAVA 3 RESULTS AND DISCUSSION

Les pajesena je blede rumen do svetlo rjav. Jetrovina se barvno ne loči od beljave, prav tako nismo zasledili diskoloriranega lesa. Glede na venčasto porozen razpored trahej in grobo teksturo in rahlo izražen naravni sijaj je po videzu podoben lesu

*Preglednica 2. Barvnometrična primerjava ( $L^*$  – svetlost,  $a^*$  – vrednost na rdeče zeleni osi,  $b^*$  – vrednost na rumeno modri osi) lesa pajesena in jesena na prečni, radialni in tangencialni ravnini ter njuna celotna barvna razlika ( $\Delta E$ ).*

*Table 2. Colourimetric values ( $L^*$  – lightness,  $a^*$  – red-green axis,  $b^*$  – yellow-blue axis) and total colour difference ( $\Delta E$ ) of *Ailanthus altissima* wood and ash wood determined on cross, radial and tangential sections.*

	<i>Ailanthus altissima</i>			<i>Fraxinus excelsior</i>			$\Delta E$
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$L^*$	$a^*$	$b^*$	
prečna ravnina/cross section	69,63	5,42	20,99	61,72	9,05	22,44	8,82
radialna ravnina/radial section	81,66	3,46	23,78	82,66	3,37	19,36	4,53
tangencialna ravnina/tangential section							
rani les/earlywood	74,55	7,29	29,07	76,62	6,53	20,71	8,65
kasni les/latewood	81,98	2,70	22,55	80,23	5,17	18,33	5,19



*Slika 2. Prečna radialna in tangencialna ravnina lesa pajesena (a, b in c) in jesena (d, e in f), merilna daljica = 1 cm.*

*Fig. 2. Macroscopic view of *Ailanthus altissima* wood (a - cross, b - radial and c - tangential section) and ash wood (d - cross, e - radial and f - tangential section), scale bar = 1 cm*



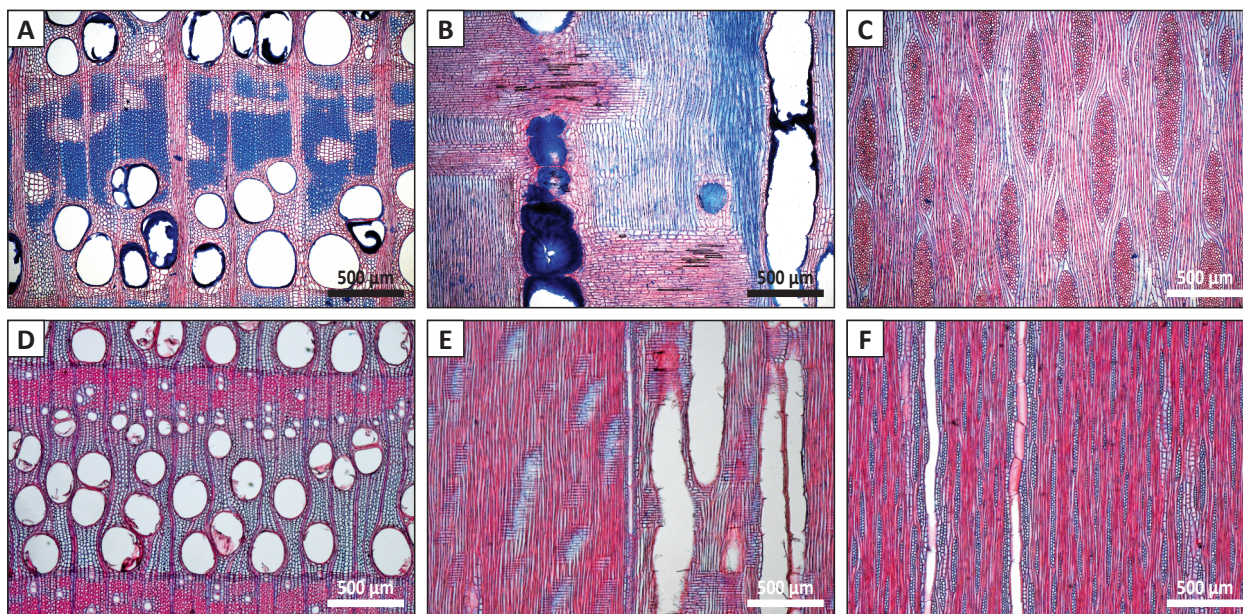
jesena. Barvna matrika kaže, da je tangencialna ravnina lesa pajesena nekoliko svetlejša od radialne, obe pa se značilno razlikujeta od temnejše prečne ravnine (Preglednica 2). Zanimiva je tudi primerjava svetlosti ranega in kasnega lesa na tangencialni ravnini, saj slednji izkazuje višjo svetlost. Temnejša barva ranega lesa je posledica temnejše obarvanih notranjih sten velikih por oz. trahej ranega lesa. Na barvnih oseh je sistem nekoliko pomaknjen k rdečim odtenkom, bolj izrazita pa je rumena os, kar potrjuje barvo, ocenjeno s prostim očesom. Na nobeni od anatomskih ravnin nismo zaznali značilnih razlik v barvi pajesena in jesena (t-test;  $p \leq 0,05$ ). Celotna barvna razlika je bila največja na prečni ravnini ( $\Delta E = 8,82$ ), najmanjša pa na radialni ( $\Delta E = 4,53$ ).

Raziskani pajesen je imel široke branike (povprečna širina je bila pri prvem drevesu 16,7 mm, pri drugem 10,3 mm in pri tretjem 10,5 mm), na tangencialni ravnini pa so vidni tudi večredni trakovi, ki so obilnejši kot pri jesenu (Slika 2).

Makroskopski pregled kaže, da so pore (traheje ranega lesa) zelo velike, večinoma posamezne in lepo vidne s prostim očesom. V kasnem lesu so traheje majhne in grupirane ter niso vidne s prostim očesom. Zaradi obilnega aksialnega parenhima, ki jih obkroža, je na prečnem prerezu viden razpored

skupin trahej kasnega lesa v tangencialno usmerjenih pasovih. Na radialnem in tangencialnem prerezu pa tipičen videz lesu dajo predvsem vzdolžno prerezane velike pore ranega lesa, ki zaradi temnejše barve poudarjajo teksturo lesa.

Podroben mikroskopski pregled (Slika 3) kaže velikost trahej ranega lesa, pri katerih lahko tangencialni premer tudi presega 300  $\mu\text{m}$ . V trahejah ranega lesa so vidni tudi gumozni depoziti (Preglednica 3 in Slika 3). Traheje kasnega lesa so bistveno manjše (premer do 20  $\mu\text{m}$ ) in grupirane v skupinah. Aksialni parenhim je v stiku s trahejami (paratrahealen), vazicentričen in krilast, v kasnem lesu pa je krilast konfluenten - zlivajoč (slika 3). Ob letnici v kasnem lesu najdemo tudi marginalni terminalni aksialni parenhim. Na tangencialnem prerezu so vidni večredni trakovi, večji med njimi so nad 10-redni. Pri pajesenu pogosto zasledimo tudi večji delež tenzijskega lesa z značilnimi želatinoznimi vlakni. Značilnost le-teh je večji delež celuloze in odsotnost lignina (Slika 3, prečni prerez – modro obarvana tkiva). Tenzijski les nastaja zaradi hitre rasti in posledično usmerjanja debla. O pogosti prisotnosti tenzijskega lesa pri pajesenu poročajo tudi drugi raziskovalci (Arnaboldi et al., 2003; Crivellaro & Schweingruber, 2013).



Slika 3. Mikroskopska zgradba lesa *Ailanthus altissima* in *Fraxinus excelsior* na prečnem (a in d), radialnem (b in e) in tangencialnem (c in f) prerezu. Svetlobna mikroskopija.

Fig. 3. Macroscopic wood structure of *Ailanthus altissima* (a - cross, b - radial and c - tangential section) and *Fraxinus excelsior* (d - cross, e - radial and f - tangential section). Light microscope.



*Preglednica 3. Primerjava anatomskih znakov IAWA za Ailanthus altissima in Fraxinus excelsior (IAWA committee, 1989)*

*Table 3. Comparison of IAWA microscopic features of Ailanthus altissima and Fraxinus excelsior (IAWA committee, 1989).*

IAWA št./No.	Opis znaka IAWA	Description of IAWA feature	Ailanthus altissima	Fraxinus excelsior
1	Meje med prirastnimi kolobarji razločne	Growth ring boundaries distinct	✓	✓
3	Les venčasto porozen	Wood ring-porous	✓	✓
6	Traheje v tangencialnih pasovih	Vessels in tangential bands	✓	✗
11	Traheje v skupinah (skupkih)	Vessel clusters common	✓	✗
13	Enostavne perforirane ploščice	Simple perforation plates	✓	✓
22	Intervaskularne piknje izmenične	Intervessel pits alternate	✓	✓
23	Oblika izmeničnih pikenj poligonalna	Shape of alternate pits polygonal	✓	✓
24	Piknje - majhne - 4 µm ali manjše	Pits - minute - ≤ 4 µm	✗	✓
25	Piknje 4 do 7 µm	Pits - small - 4 - 7 µm	✓	✓
29	Piknje z izrastki	Vestured pits	✗	✓
30	Piknje med trahejami in trakovi z različnimi oboki; po velikosti in obliki podobne intervaskularnim piknjam	Vessel-ray pits with distinct borders; similar to intervessel pits in size and shape throughout the ray cell	✓	✓
36	Helikalne odebelitve v trahejnih elementih prisotne	Helical thickenings in vessel elements present	✓	✗
37	Helikalne odebelitve na celotni površini trahejnega elementa	Helical thickenings throughout body of vessel element	✓	✗
39	Helikalne odebelitve le v ožjih trahejnih elementih	Helical thickenings only in narrower vessel elements	✓	✗
42	Tangencialni premer trahej 100 do 200 µm	Tangential diameter of vessels 100 - 200 µm	✗	✓
43	Tangencialni premer trahej 200 µm ali več	Tangential diameter of vessels ≥ 200 µm	✓	✓
53	Tangencialni premer trahej: srednja vrednost, maksimum, minimum, st. odklon, razpon, 350 - 800 µm	Tangential diameter of vessels: average, maximum, minimum, standard deviation 350 - 800 µm	✓	✓
58	Gumozni in drugi depoziti v trahejah jedrovine	Gums and other deposits in heartwood vessels	✓	✗
61	Vlakna z enostavnimi do nekoliko obokanimi piknjami	Fibres with simple to minutely bordered pits	✓	✓
66	Neseptirana vlakna prisotna	Non-septate fibres present	✓	✓
69	Vlakna s tankimi do debelimi stenami	Fibres thin- to thick-walled	✓	✓
72	Vlakna z zelo debelimi stenami 900 - 1600 µm	Fibres with very thick walls 900 - 1600 µm	✓	✓
79	Aksialni parenhim vazicentričen	Axial parenchyma vasicentric	✓	✓
80	Aksialni parenhim krilast	Axial parenchyma aliform	✓	✓
82	Aksialni parenhim dolgo krilast	Axial parenchyma winged-aliform	✓	✓
83	Aksialni parenhim konfluenten	Axial parenchyma confluent	✓	✓
89	Aksialni parenhim v marginalnih ali navidezno marginalnih pasovih	Axial parenchyma in marginal or in seemingly marginal bands	✓	✓
92	Aksialni parenhim 4 (3 do 4) celice v parenhimskem pramenu	Four (3 - 4) cells per parenchyma strand	✓	✓
93	Aksialni parenhim 8 (5 do 8) celic v parenhimskem pramenu	Eight (5 - 8) cells per parenchyma strand	✗	✓
97	Trakovi 1 do 3 celice široki	Ray width 1 to 3 cells	✗	✓
99	Večji trakovi navadno 10 in več redni	Larger rays commonly > 10-seriate	✓	✗
102	Trakovi višji od 1 mm	Ray height > 1 mm	✓	✗
104	Vse trakovne celice ležeče	All ray cells procumbent	✗	✓
106	Celice osrednjega dela traku ležeče z eno vrsto pokončnih in/ali kvadratstih robnih celic	Body ray cells procumbent with one row of upright and / or square marginal cells	✓	✗
107	Celice osrednjega dela traku ležeče z večinoma 2 - 4 vrstami pokončnih in/ali kvadratstih robnih celic	Body ray cells procumbent with mostly 2-4 rows of upright and / or square marginal cells	✓	✗
110	Ovojne celice	Sheath cells	✓	✓
114	Število trakov 4 ali manj / mm	Number of rays ≤ 4 / mm	✓	✗
115	Število trakov 4 - 12 / mm	Number of rays (4 - 12) / mm	✗	✓
164	Evropa in zmerni pas Azije	Europe and temperate Asia	✓	✓
165	Evropa brez Sredozemlja	Europe, excluding Mediterranean	✓	✓
166	Sredozemlje vključno s Severno Afriko in Srednjim Vzhodom	Mediterranean including Northern Africa and Middle East	✓	✗
167	Zmerni pas Azije (Kitajska), Japonska, Sovjetska zveza	Temperate Asia (China), Japan, Russia	✓	✗
182	Severna Amerika, severno od Mehike	North America, north of Mexico	✓	✗
189	Drevo	Tree	✓	✓
192	Les s komercialnim pomenom	Wood of commercial importance	✓	✓
193	Osnovna relativna gostota nizka, 0,40 ali manjša	Basic specific gravity low, ≤ 0.40	✓	✗
194	Osnovna relativna gostota srednja, 0,40 - 0,75	Basic specific gravity medium, 0.40 - 0.75	✓	✓

Pregled zgradbe lesa (preglednica 3), je pokazal 22 razlik med pajesenom in jesenom. Prvi viden znak pajesena na prečnem prerezu so večje traheje ranega lesa in bistveno manjše traheje kasnega lesa. Slednje se pri pajesenu tudi pojavljajo v večjih skupinah, ki jih med seboj povezuje obilnejši konfluenten aksialni parenhim. Traheje kasnega lesa pajesena imajo tanke stene in za razliko od jesena imajo spiralne (helikalne) odebelitve (Slika 4). Trakovi pajesena so bistveno višji in širši. Pri jesenu so vse celice trakov ležeče (homogeni trak), medtem ko pri pajesenu na robu trakov najdemo od 1 do 3 vrste pokončnih oz. zidakastih celic (heterogeni trak).

Gostota v absolutno suhem stanju pri pajesenu je povprečno  $614 \text{ kg/m}^3$  (Preglednica 2), kar vrsto uvršča med srednje goste lesove. Razlike med minimalnimi in maksimalnimi vrednostmi so relativno majhne, kar za venčasto porozne vrste ni najbolj

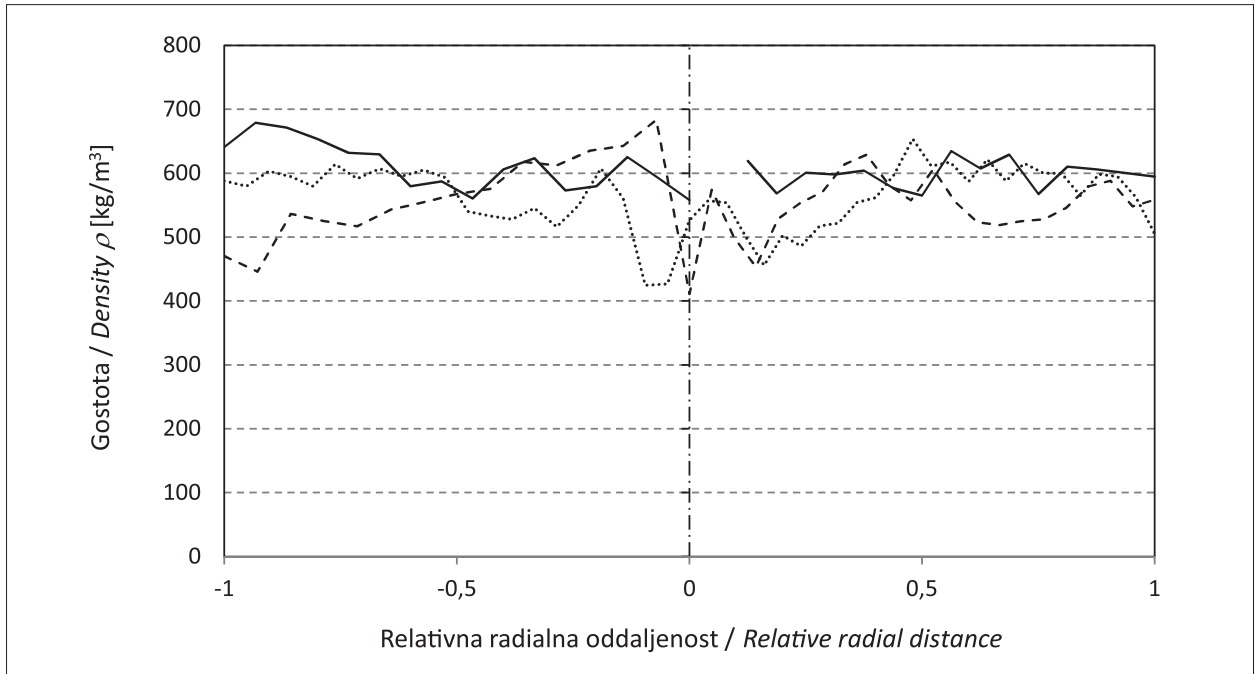
značilno (npr. pri jesenu gostota v absolutno suhem stanju variira med  $410$  in  $820 \text{ kg/m}^3$ ) (Wagenführ & Scheiber, 1989). Pri pajesenu tudi ne moremo potrditi vpliva širine branik na gostoto, saj tudi pri dokaj velikem razponu širine branik (od  $1,5$  do  $17,1 \text{ mm}$ ) nismo ugotovili korelacije med širino branik in gostoto. Ugotavljamo le, da je pajesen v juvenilnem obdobju zelo hitro rastoča vrsta s širokimi letnimi prirastki, medtem ko je za kasnejše adultno obdobje značilen slabši debelinski prirastek. Večina dreves velikega pajesena je posekana v starosti 25 do 30 let, drevesa pa so pri nas redko starejša od 50 let. Glede na navedeno je delež juvenilnega lesa v deblih pajesena velik.

Gostota lesa proučevanih dreves pajesena je bila tik ob strženu najnižja, že po nekaj letih (branikah) pa večinoma doseže bolj ali manj konstantne vrednosti z manjšimi odkloni (Slika 5). Ugotovljena vlažnost lesa



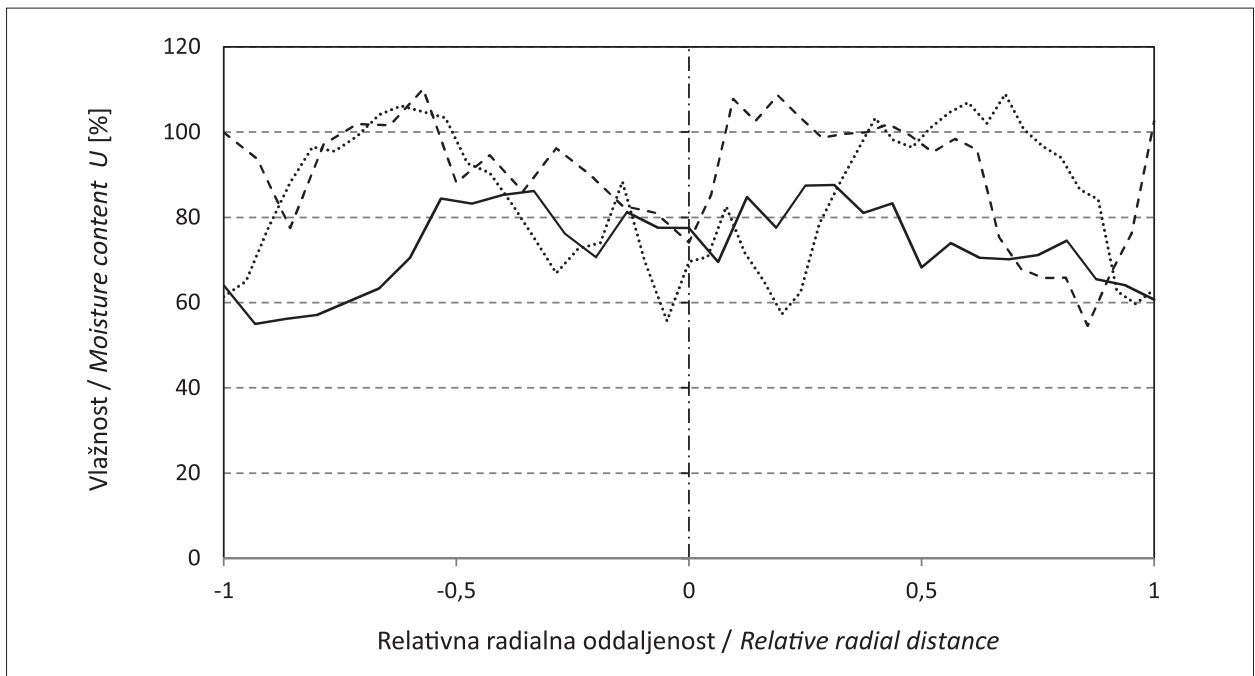
Slika 4. *Ailanthus altissima*, radialni prerez. V trahejah kasnega lesa so vidne helikalne odebelitve (puščica). Vrstična elektronska mikroskopija.

Fig. 4. *Ailanthus altissima* wood: radial section with Helical thickenings in late wood vessels (arrow). Scanning Electron Microscope.



Slika 5. Radialni razpored nominalne gostote treh dreves velikega pajesena (..... drevo 1 –  $d = 41,5$  cm; — drevo 2 –  $d = 27,5$  cm in - - - - - drevo 3 –  $d = 31,0$  cm).

Fig. 5. Radial distribution of nominal density of *Ailanthus altissima* in three trees. Diameters ( $d$ ): ..... tree 1 –  $d = 41.5$  cm; — tree 2 –  $d = 27.5$  cm and - - - - - tree 3 –  $d = 31.0$  cm.



Slika 6. Radialna porazdelitev vlažnosti treh dreves velikega pajesena (..... drevo 1 –  $d = 41,5$  cm; — drevo 2 –  $d = 27,5$  cm in - - - - - drevo 3 –  $d = 31,0$  cm).

Fig. 6. Radial distribution of moisture content of *Ailanthus altissima* in three trees. Diameters ( $d$ ): ..... tree 1 –  $d = 41.5$  cm; — tree 2 –  $d = 27.5$  cm and - - - - - tree 3 –  $d = 31.0$  cm.

je po celotnem prečnem prerezu dokaj visoka, kar pripisujemo juvenilnosti (Slika 6). Nekoliko nižje vrednosti na obodu, v prevodni beljavi tik pod skorjo, so posledice znižanja vlažnosti takoj po poseku.

Srednja gostota zračno suhega lesa pajesena je  $641 \text{ kg/m}^3$ , osnovna gostota pa  $522 \text{ kg/m}^3$ . Les s takšno gostoto ima najširši spekter možne uporabe. Primeren je za predelavo v celulozo in papir, za raznovrstne lesne plošče, za uporabo v pohištveni industriji, z nekaj zadržki pa tudi za konstrukcijske namene.

Pri pajesenu smo zaznali nadpovprečno veliko krčenje lesa v tangencialni smeri, medtem ko je krčenje v radialni smeri zmerno (Preglednica 4). Velika prečna krčitvena anizotropija zato kaže na oblikovno nestabilnost na prečnem prerezu, ki se izraža na rombastih deformacijah in veliki težnji h koritanju, k čemer so najbolj nagnjeni tangencialno orientirani elementi. Glede na srednjo gostoto lesa pajesena je njegovo volumensko krčenje ( $\beta_V = 14,5 \%$ ) veliko, po podatkih iz literature pa lahko celo presega  $17 \%$  (Panayotov et al., 2011). Posledica velikega krčenja je tudi visoka točka nasičenja celičnih sten, ki predstavlja v procesu sušenja kritičen prehod, ko se prične krčenje lesa, hkrati pa se pojavi še difuzijski upor. Predvidevamo, da je glede na izmerjene in izračunane vrednosti gostot in skrčkov napojitvena vlažnost pajesena  $127,9 \%$ , kar pomeni, da moramo iz prepojene beljave izločiti tudi do  $700 \text{ kg}$  vode, preden je les pajesena primeren za uporabo v večini predelovalnih postopkov.

*Preglednica 4. Povprečne gostote lesa velikega pajesena pri vlažnosti  $12 \%$  ( $\rho_u = 12\%$ ) in v absolutno suhem stanju ( $\rho_0$ ), osnovna gostota ( $R$ ), volumenski ( $\beta_V$ ) in linearni skrčki ( $\beta_L$ ,  $\beta_R$  in  $\beta_T$ ) ter vlažnost pri točki nasičenja celičnih sten ( $u_{TNCS}$ ) z osnovno statistiko v primerjavi z jesenom (Gorišek, 1992, Wagenführ & Scheiber, 1989).*

*Table 4. Average values of density at  $12\%$  moisture content ( $\rho_u = 12\%$ ), density in oven dry state ( $\rho_0$ ), basic density ( $R$ ), volume ( $\beta_V$ ) and linear shrinkage ( $\beta_L$ ,  $\beta_R$  and  $\beta_T$ ) and fibre saturation point ( $u_{TNCS}$ ) for *Ailanthus altissima* with basic statistics in comparison with *Fraxinus excelsior* wood.*

	Gostota / Density			Skrček / Shrinkage				Vlažnost TNCS/FSP
	$\rho_{u=12\%}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_0$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$R$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\beta_V$ [%]	$\beta_L$ [%]	$\beta_R$ [%]	$\beta_T$ [%]	$u_{TNCS}$ [%]
<b>Srednja vrednost/Average</b>	<b>641</b>	<b>614</b>	<b>522</b>	<b>14,9</b>	<b>0,5</b>	<b>4,0</b>	<b>11,0</b>	<b>35,2</b>
Standardni odklon/St. Dev.	12,3	13,7	11,9	0,99	0,18	0,63	0,99	2,75
Koeficient variacije/c.v.	1,9	2,2	2,3	6,6	36,2	15,8	9,0	7,8
Minimum/Minimum	617	582	502	13,3	0,1	3,0	9,5	31,5
Maksimum/Maximum	655	634	541	16,2	0,7	5,1	12,5	40,6
Jesen/Ash wood	780	720	642	13,6	0,2	4,8	8,5	30,6

Sušenje lesa pajesena ni zahtevno, saj se ugodno suši tako nad točko nasičenja celičnih sten kot pod njo. Sušenje svežega lesa je ugodno in hitrejše kot pri lesnih vrstah s primerljivo gostoto. Pri načrtovanju sušenja je potrebno upoštevati visoko točko nasičenja celičnih sten, zato nastopi kritično območje relativno hitro (Preglednica 4). Večjo kontrolo zahteva tudi sušenje tangencialno orientiranih žagarskih sortimentov, ki so vsled velikega tangencialnega krčenja bolj podvrženi zvijanju in koritavosti, pri debelejših sortimentih tudi radialnim čelnim razpokam. Priporočljivo je obteževanje zložajev in premazovanje čel z neprepustnimi premazi. Pri izvajanju sušenja na prostem moramo les pajesena čim hitreje naletvičiti in ga postaviti v prezračen prostor, da preprečimo možnosti obarvanja in biotskih okužb.

V eksperimentalni konvekcijski sušilni komori smo pri previdnem režimu za sušenje žaganega lesa pajesena debeline  $40 \text{ mm}$  potrebovali  $550 \text{ ur}$ , oziroma smo sušili s povprečno sušilno hitrostjo  $1,8 \%$ /dan. Sušilni postopek ocenjujemo kot srednje zahteven s povprečno specifično porabo  $1,6 \text{ kWh}$  na kilogram izločene vode.

Pri statičnem upogibnem preizkusu smo opredelili togost velikega pajesena kot nizko s povprečnim modulom elastičnosti  $11,7 \text{ GPa}$  (Preglednica 5). Pričakovano višji dinamični modul ( $E_d = 13,6 \text{ GPa}$ ) vrsto uvršča v razred srednje togih lesov. V srednji razred ga razvrstimo tudi po upogibni in tlačni trdnosti. Tlačna trdnost v vzdolžni smeri je bila  $3,3$  krat večja kot v radialni smeri in  $4,5$  krat večja kot v tangencialni



*Preglednica 5. Povprečne vrednosti in osnovna statistika dinamičnega ( $E_d$ ) in statičnega ( $E_s$ ) elastičnega modula, upogibne ( $\sigma_b$ ) in tlačne trdnosti v vzdolžni ( $\sigma_{c||}$ ), radialni ( $\sigma_{c\perp R}$ ) in tangencialni ( $\sigma_{c\perp T}$ ) smeri ter strižna modula v vzdolžno radialni ( $\tau_{LR}$ ) in tangencialni ravnini ( $\tau_{LT}$ ) velikega pajesena v primerjavi z jesenom (Wagenführ & Scheiber, 1989; Joudeikiene & Norvydas, 2005).*

*Table 5. Average values and basic statistics for dynamic ( $E_d$ ) and static ( $E_s$ ) modulus of elasticity, bending strength ( $\sigma_b$ ), compression strength in longitudinal ( $\sigma_{c||}$ ), radial ( $\sigma_{c\perp R}$ ) and tangential ( $\sigma_{c\perp T}$ ) direction, shear strength in longitudinal-radial ( $\tau_{LR}$ ) and in longitudinal-tangential ( $\tau_{LT}$ ) planes of *Ailanthus altissima* in comparison with *Fraxinus excelsior* wood (Wagenführ & Scheiber, 1989; Joudeikiene & Norvydas, 2005).*

	Modul elastičnosti Modulus of elasticity		Upogibna trdnost Bending strength	Tlačna trdnost Compression strength			Strižna trdnost Shear strength	
	$E_d$ [GPa]	$E_s$ [GPa]	$\sigma_b$ [MPa]	$\sigma_{c  }$ [MPa]	$\sigma_{c\perp R}$ [MPa]	$\sigma_{c\perp T}$ [MPa]	$\tau_{LR}$ [MPa]	$\tau_{LT}$ [MPa]
Srednja vrednost/Average	<b>13,6</b>	<b>11,7</b>	<b>111,6</b>	<b>53,3</b>	<b>16,1</b>	<b>11,8</b>	<b>18,7</b>	<b>17,9</b>
Standardni odklon/St. Dev.	0,91	0,63	6,29	4,36	1,64	1,13	1,08	1,14
Koeficient variacije/c.v.	6,7	5,4	5,6	8,2	10,2	9,6	5,8	6,4
Minimum/Minimum	11,9	10,6	104,0	46,7	13,5	10,1	17,1	16,0
Maksimum/Maximum	15,3	12,9	123,0	59,4	17,8	13,3	20,5	19,5
Jesen/Ash wood	-	13,4	120	52	15,2	10,7	18,6	-

smeri. Podatki mehanskih lastnosti so primerljivi sicer redkimi podatki iz literature (npr. Moslemi & Bagwat, 1970, Brandner & Schickhofer, 2010).

Po trdoti lahko les pajesena razvrstimo med srednje trde lesove, kamor med drugim uvrščamo tudi črni bor, oreh in brest (Preglednica 6). Za lesene talne obloge bi z vidika trdote les pajesena lahko uporabili v manj obremenjenih prostorih.

Kot že omenjeno je les velikega pajesena po videzu in zgradbi zelo podoben lesu jesena. Z vidika

*Preglednica 6. Povprečne vrednosti trdote na prečni ( $HB_p$ ), vzdolžno radialni ( $HB_R$ ) in vzdolžno tangencialni ravnini ( $HB_T$ ) velikega pajesena v primerjavi z jesenom (Wagenführ & Scheiber, 1989).*

*Table 6. Average values of hardness on cross- ( $HB_p$ ), radial- ( $HB_R$ ) and tangential sections ( $HB_T$ ) of *Ailanthus altissima* in comparison with *Fraxinus excelsior* (Wagenführ & Scheiber, 1989).*

	$HB_p$	$HB_R$	$HB_T$
Srednja vrednost/Average	<b>48,3</b>	<b>20,2</b>	<b>26,3</b>
Standardni odklon/St. dev.	4,91	1,86	4,29
Koeficient variacije/c. v.	10,2	9,2	16,3
Minimum/Minimum	42,5	17,2	20,3
Maksimum/Maximum	58,1	22,8	32,3
Jesen/Ash wood	65,0	-	41,0

uporabnosti pa je zanimiva primerjava z relevantnimi fizikalnimi in mehanskimi lastnostmi (Slika 7). Primerjave s podatki iz arhiva Katedre za tehnologijo lesa (Možina, 1969; Gorišek, 1992) in relevantnimi podatki iz svetovne literature (Brandner & Schickhofer, 2010, Joudeikiene & Norvydas, 2005; Wagenführ & Schreiber, 1989) lahko zaključke strnemo takole. Če je gostota lesa pajesena le nekoliko nižja od jesena, moramo tem bolj izpostaviti veliko tangencialno krčenje. Velik tangencialni skrček je pogosto vzrok pojavljanju večjega števila sušilnih napak; bočnice so izrazito izpostavljene koritanju oziroma žlebatosti, k čemur prispeva tudi velika prečna krčivena anizotropija; tangencialno krčenje generira tudi močne sušilne napetosti, ki pri prekoračitvi trdnosti vodijo tako do površinskih razpok oz. poklin kot tudi do pogostejšega pojava čelnih razpok. Pričakujemo lahko močnejše zaskorjenje ali pri ostrejših pogojih sušenja tudi nastanek satastih razpok.

Les pajesena ima upogibno trdnost primerljivo z jesenom, v elastičnem območju pa kaže veliko večje podajnosti, saj je statični modul elastičnosti skoraj 15 % manjši kot pri jesenu. Tudi ostale nekoliko slabše mehanske lastnosti pajesena opozarjajo, da pri bolj obremenjenih izdelkih pajesen ne bi bil ustrezna zamenjava za jesen.

Zaradi velikega krčenja moramo biti pozorni tudi pri sušenju, ki pri ostrih pogojih lahko privede

do večjega števila razpok (poklin in čelnih razpok) predvsem na tangencialnih deskah, večja dimenzijska nestabilnost pa omejuje uporabo pajesena zlasti še v nihajočih klimatskih razmerah.

Glede na ugotovljene lastnosti menimo, da les pajesena predstavlja večji potencial za predelavo v celulozo in papir, iz njega lahko izdelujemo raznovrstne lesne plošče, ob pravilni sestavi kompozitov pa je uporaben tudi za konstrukcije, ki niso izpostavljene drastičnim klimatskim razmeram.

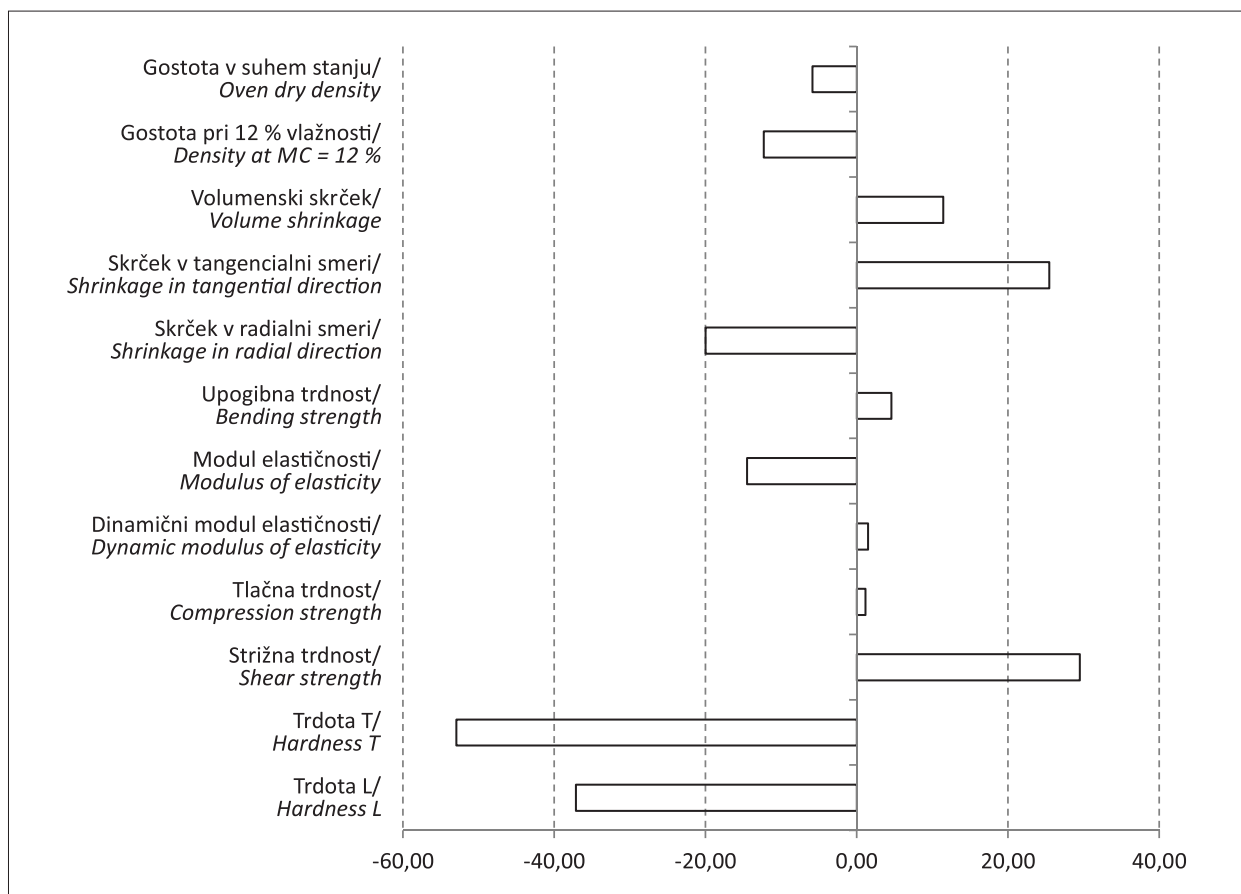
## 5 ZAKLJUČKI 5 CONCLUSIONS

Les drevesne vrste *Ailanthus altissima* – velikega pajesena je na pogled upravičeno primerljiv z lesom našega velikega jesena (*Fraxinus excelsior*), pregled mikroskopskih znakov pa kaže več razlik.

Traheje ranega lesa so zelo velike in lahko vsebujejo gumozne depozite. Traheje kasnega lesa pa imajo značilne helikalne odebelitve in tanjše stene kot so stene trahej kasnega lesa pri jesenu. Večje skupine trahej kasnega lesa so obdane z obilnejšim paratrahealnim, tudi krilato konfluentnim aksialnim parenhimom. Trakovi lesa pajesena so heterogeni ter višji in širši od homogenih trakov pri jesenu.

Gostota lesa pajesena je v povprečju nekoliko manjša in manj variabilna kot pri jesenu. Les pajesena ima izrazito tangencialno krčenje, kar zahteva večjo pozornost pri sušenju in pri uporabi v izpostavljenih klimatskih razmerah.

Kljub nekaterim podobnim fizikalno-mehanskim lastnostim pa zaradi nekaterih izrazito odstopajočih vrednosti lesa pajesena ne moremo priporočiti za zamenjavo lesa jesena. Med lastnostmi, ki omejujejo in zmanjšujejo možnost rabe pajesena, so predvsem



Slika 7. Primerjava izbranih fizikalnih in mehanskih lastnosti lesa velikega pajesena (levo) in velikega jesena (desno) z odstotnimi razlikami.

Fig. 7. Comparison of selected physical and mechanical properties of *Ailanthus altissima* (left) in comparison with *Fraxinus excelsior* (right) wood.

velik delež juvenilnega lesa in pogosta prisotnost tenzijskega lesa, nadpovprečno krčenje, slabši modul elastičnosti in nizka trdota. Odsvetujemo uporabo lesa pajesena za izdelke, ki so mehansko obremenjeni kot tudi tiste, ki so izpostavljeni ostrejšim klimatskim pogojem ali nihanjem.

Les pajesena je potencialno primeren za predelavo v celulozo in papir in za kompozitne plošče iz dezintegriranega lesa.

## 6 POVZETEK 6 SUMMARY

The Chinese sumac (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) is among the four most invasive non-native species in Europe, including in Slovenia. The Chinese sumac originates from China and the Maluku Islands, and was brought to Europe in the 18<sup>th</sup> century. The first records on cultivation in Slovenia date back to 1795, when they began to plant it as a park tree. Later, with the beginning of afforestation, and in particular in Karst areas in Slovenia, it became invasive. It also grows in forest clearings, abandoned agricultural land, along traffic routes, on abandoned industrial areas, and in rocky terrain or in wall cracks.

Chinese sumac wood has some similarities to European ash (*Fraxinus excelsior* L.) wood that is native in Slovenia. The two species are similar regarding tree appearance and the structure of the wood. This was the main reason for the present study, where we analysed visual, anatomical and selected physical and standard mechanical properties of both wood species.

Chinese sumac wood for experimental work was obtained from three park trees from Ljubljana, felled in the autumn of 2017. One 2 m long log was taken from the base of each tree and sawn afterwards into 32 mm thick boards, from which central radial boards were included in the study. A part of each central board was used in the green state to determine gravimetrically moisture content and density profiles. The rest of the boards were carefully kiln dried to 12% final moisture content. The boards were then conditioned for 1 month in the normal climate (20 °C, 65% RH). Furthermore, we made oriented specimens (20 mm × 20 mm × 600 mm in radial × tangential × longitudinal direction), from the adult wood region, in order to determine the physical and the mechanical properties.

We determined the density, volume- and axial shrinkage, and the moisture content at the fibre saturation point. The dynamic modulus of elasticity was determined from the frequency response, and standard static mechanical tests were carried out to determine the bending strength and modulus of elasticity, compression strength (parallel and perpendicular to the grain), shear strength and the wood hardness. Additionally, the Chinese sumac wood was studied visually and by CIELab colorimetry. Light-microscopic examination of Chinese sumac followed the IAWA list of microscopic features for hardwood identification (IAWA Committee, 1989). The results obtained for the Chinese sumac were compared with the data from the relevant literature for European ash wood (e.g., Wagenfuher & Schreiber, 1989) and data from our own unpublished research.

Visually, the woods of both species have similar pale yellow to light brown colour, locally with distinctively lighter yellowish to green longitudinal stripes. Calorimetrically, the Chinese sumac wood is slightly darker ( $\Delta L^* = 7.9$ ) and more pale yellow ( $\Delta a^* = 3.6$ ) than European ash wood ( $\Delta E^* = 8.8$ ). On the tangential plane of Chinese sumac, we recorded more abundant and slightly larger rays than in European ash wood.

Chinese sumac has big early-wood vessels, with a tangential diameter of more than 300  $\mu\text{m}$ . In heartwood vessels gums and other deposits are commonly present. Latewood vessels are much smaller, approximately 20  $\mu\text{m}$  in diameter, forming clusters which are arranged in tangential bands. Vessels are surrounded by axial parenchyma that is defined as paratracheal, vasicentric, aliform and also aliform confluent. The latter is rarely observed in European ash. Chinese sumac wood thus has larger early wood vessels, smaller latewood vessels (which also have spiral helical thickenings) than ash wood. The rays in Chinese sumac are bigger, commonly more than 10-seriate and higher than 1 mm, body ray cells are procumbent and marginal cells are upright (heterogeneous ray), whereas in European ash rays are smaller and homogeneous. Due to fast growth, wide growth rings and the need for reorientation, a large proportion of tension wood with gelatinous fibres is commonly present in Chinese sumac.

Chinese sumac wood has an average oven dry density of 614  $\text{kg}/\text{m}^3$ , with low variation (coef. of variation = 2.2%). Its density is only slightly lower

than that of European ash wood, ranging between  $410 \text{ kg/m}^3$  and  $820 \text{ kg/m}^3$  (Wagenführ & Scheiber, 1989). In contrast to the European ash, we could not confirm the expected negative correlation of the growth ring width and the density in Chinese sumac wood. We only found that Chinese sumac is a very fast growing tree species in its juvenile period, and has a lower growth rate afterwards. Most Chinese sumac trees are cut down at the age of 25 to 30 years, and exceptionally there are trees that are older than 50 years.

Chinese sumac wood had an above-average tangential shrinkage ( $\beta_T = 11.0\%$ ). The radial shrinkage was however moderate ( $\beta_R = 4.0\%$ ), and similar to that of the European ash wood. High transverse shrinkage anisotropy increases the risk of shape instability in the cross-section and warping of wood. Depending on the average density, Chinese sumac wood has a large volumetric shrinkage ( $\beta_V = 14.5\%$ ) and also a high fibre saturation point ( $FSP = 35.2\%$ ). The latter should be taken into account when planning the drying process in order to avoid excessive drying stress. Otherwise, the drying of the Chinese sumac wood is unpretentious and faster compared to the wood of the species with comparable density.

The modulus of elasticity in bending of the Chinese sumac wood ( $E_S = 11.7\%$ ) is just slightly smaller (-15%) than in the European ash wood. The Chinese sumac is completely comparable to the European ash wood regarding bending strength ( $MOR = 111.6 \text{ MPa}$ ) and compression strength ( $\sigma_{JL,max,c} = 53.3\%$ ). Otherwise, the compression strength of the Chinese sumac wood was 3.3 times greater in the longitudinal direction than in the radial direction, and 4.5 times larger than in the tangential direction. The shear strength of the Chinese sumac wood is also high ( $\tau_{LR} = 18.7 \text{ N/mm}^2$ ;  $\tau_{LT} = 17.9 \text{ N/mm}^2$ ) in comparison to other wood with comparable density, such as black pine, walnut and elm, and is greater than the literature reports for the European ash wood. The hardness of Chinese sumac wood was the only mechanical property that was considerably lower than that found in the European ash wood ( $HB_C = 48.3 \text{ N/mm}^2$ ;  $HB_R = 20.2 \text{ N/mm}^2$ ;  $HB_T = 26.3 \text{ N/mm}^2$ ). Therefore, the use of Chinese sumac wood for flooring is not recommended.

In spite of having some similar physico-mechanical properties, Chinese sumac cannot substitute

for European ash wood. Care is needed if we intend to use Chinese sumac for highly loaded constructions, since most of the strength properties do not reach those of the European ash wood. Due to the large shrinkage, we must also pay attention to the drying process, which can lead to a greater number of errors under severe drying conditions. Wood of Chinese sumac cannot be recommended for demanding products, as it usually has high proportion of juvenile and tension wood. However, Chinese sumac wood could be used to produce pulp and paper, as well as wood panels and for less loaded construction purposes.

## ZAHVALA

### ACKNOWLEDGEMENTS

Prestavljeni rezultati so del raziskav, ki potekajo v okviru izvajanja projekta APPLAUSE (UIA02-228), programske sheme Urban Innovative Action, ki ga finančno podpira Evropska unija iz Evropskega sklada za regionalni razvoj (ESRR). Del študije je bil opravljen v okviru raziskav programske skupine P4-0015, ki jo financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost republike Slovenije (ARRS). Avtorji se še posebej zahvaljujemo Luki Kržetu, dipl. ing. les. in Jožetu Planinšiču za skrbno in natančno pripravo vzorcev ter pomoč pri izvajanju analiz.

## VIRI

### REFERENCES

- Alden, H. A. (1995). *Hardwoods of North America*. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-83. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 136 p.
- Anko, B. (1984a). Kresničke iz gozdarske zgodovine. *Gozdarski vestnik*, 42, 75–76.
- Anko, B. (1984b). Umni gospodar o kozah. *Kresničke iz gozdarske zgodovine*. *Gozdarski vestnik*, 42, 232–234.
- Applause (2017). URL: <https://www.uia-initiative.eu/en/uia-cities/ljubljana>
- Arnaboldi, F., Conedera, M., & Fonti, P. (2003). Caratteristiche anatomiche e auxometriche di *Ailanthus altissima*. Una specie arborea a carattere invasivo. *Sherwood*, 9(91), 19–22.
- Azim, A., Khan, A. G., Ayaz, M., & Mirza, I. H. (2002). Nutritional evaluation of fodder tree leaves with goats. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 15(1):34–37.
- Becker, C. (2009). Control and utilization of tree of heaven. Virginia department of forestry, Virginia.
- Bioportal.si. URL: <http://www.bioportal.si/fotoarhiv.php?iskanec=veliki%20pajesen>



- Brandner, R., & Schickhofer, G. (2010). Tree-of-Heaven (*Ailanthus altissima*): enormous and wide potential neglected by the western civilisation. In: WCTE 2010 Conference Proceedings (pp. 1–7).
- Brus, R., Arnšek, T., & Gajšek, D. (2016). Pomlajevanje in širjenje velikega pajesena (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) na Goriškem. *Gozdarski vestnik*, 74(3), 115–125.
- Burch, P. L., & Zedaker, S. M. (2003). Removing the invasive tree *Ailanthus altissima* and restoring natural cover. *Journal of Arboriculture*, 29(1):18–24.
- Crivellaro, A., & Schweingruber, F. H. (2013). Atlas of Wood, Bark and Pith Anatomy of Eastern Mediterranean Trees and Shrubs with a Special Focus on Cyprus. Berlin, Springer Berlin.
- EN 1534:2011 (2011). Wood flooring - Determination of resistance to indentation (Brinell) - Test method. (Lesene talne obloge - Ugotavljanje odpornosti proti vtiskovanju (Brinell) - Preskusne metode).
- Feret, P. P. (1985). *Ailanthus*: Variation, cultivation, and frustration. *Journal of Arboriculture*, 11(12), 361–368.
- Feret, P. P. (1973). Early flowering in *Ailanthus*. *Forest Science*, 19:237–239.
- Gorišek, Ž. (1992). Vpliv prečne krčitvene anizotropije lesa na sušenje in stabilnost. Doktorska disertacija. Ljubljana Biotehniška fakulteta, 120 p.
- Gorišek, Ž., Straže, A., Čufar, K., Šega, B., Marenče, J., & Gornik Bučar, D. (2016). Visual and acoustics grading of beech wood from standing tree to final product. IN: Proceeding Hardwood Conference „Eco-efficient Resource Wood“ with special focus on hardwoods. Sopron 2016.
- Gravano, E., Giulietti, V., Desotgiu, R., Bussotti, F., Grossoni, P., Gerosa, G., & Tani, C. (2003). Foliar response of an *Ailanthus altissima* clone in two sites with different levels of ozone-pollution. *Environ Pollut.*, 121(1):137–46.
- Heisey, R. M. (1990). Evidence for allelopathy by tree of heaven (*Ailanthus altissima*). *J Chem Ecol.*, 16(6), 2039–2055.
- Hu, S. Y. (1979). *Arnolia Ailanthus*, 39(2), 29–50.  
URL: <http://arnoldia.arboretum.harvard.edu/pdf/articles/1979-39-2-ailanthus.pdf>
- IAWA (1989). List of Microscopic Features for Hardwood Identification, with an Appendix on non-anatomical information. Wheeler E. A., Baas. P. and Gasson P.E. (eds), IAWA Bulletin, 10(3), 219–332.
- ISO 13061-1:2014. Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens: Part 2 Determination of moisture content for physical and mechanical tests.
- ISO 13061-2:2014. Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens: Part 2 Determination of density for physical and mechanical tests. 5 p.
- ISO 13061-3:2014. Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens: Part 3 Determination of ultimate strength in static bending.
- ISO 13061-4:2014. Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens: Part 4 Determination of modulus of elasticity in static bending.
- ISO/DIS 13061-5: 2018. Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens — Part 5: Determination of strength in compression perpendicular to grain.
- ISO 13061-12:2017. Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens — Part 12: Determination of static hardness.
- ISO 13061-13:2016. Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens — Part 13: Determination of radial and tangential shrinkage.
- ISO 13061-14:2016. Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens — Part 14: Determination of volumetric shrinkage.
- ISO 13061-15:2017. Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens — Part 15: Determination of radial and tangential swelling.
- ISO/DIS 13061-16: 2017. Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens — Part 16: Determination of volumetric swelling.
- ISO 13061-17:2017. Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens — Part 17: Determination of ultimate stress in compression parallel to grain.
- ISO 3347:1976. Wood — Determination of ultimate shearing stress parallel to grain.
- Joudeikiene, I., & Norvydas, V. (2005). Compression Strength of Oak and Ash Wood Perpendicular to Grain. *Materials Science (Medžiagotyra)* 11(1), 40–44.
- Kožuharova, E., Lebanova, H., Getov, I., Benbassat, N., & Kochmarov, V. (2014). *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle – a terrible invasive pest in Bulgaria or potential useful medicinal plant? *Bothalia Journal*, 44(3), 213–230.
- Kudela, J., & Mamonova, M. (2006). Tree of heaven – structure and properties. V: Kurjatko, S. Kudela, J., Lagana, R. Wood structure and properties. Arbora publisher, Zvolen. 275–280.
- Miller, J. H. (1990). *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. In: Burns, R. M., Honkala, B. H. (1990). *Silvics of North America: Volume 2 – Hardwoods*. Agricultural Handbook, 654, United States Department of Agriculture, Washington, DC, p. 101–104.
- Moslemi, A. A., & Bhagwat, S. G. (1970). Physical and mechanical properties of the wood of tree-of-heaven. *Wood and Fiber*, 1(4), 319–323.
- Možina, I. (1969). Raziskovanja tehnoloških lastnosti jesenovine. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, 130 p.
- Panayotov, P., Kalmukov, K., & Panayotov, M. (2011). Biological and wood properties of *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. *Forestry ideas*, 17, 2(42), 122–130.
- Rastline – invazivne tujerodne vrste. Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije. URL: [http://www.mop.gov.si/si/delovna\\_podrocja/narava/invazivne\\_tujerodne\\_vrste\\_rastlin\\_in\\_zivali/rastline\\_invazivne\\_tujerodne\\_vrste/veliki\\_pajesen\\_ailanthus\\_altissima/veliki\\_pajesen\\_tudi\\_veliki\\_pajesen\\_ailanthus\\_altissima/](http://www.mop.gov.si/si/delovna_podrocja/narava/invazivne_tujerodne_vrste_rastlin_in_zivali/rastline_invazivne_tujerodne_vrste/veliki_pajesen_ailanthus_altissima/veliki_pajesen_tudi_veliki_pajesen_ailanthus_altissima/)
- Rožnberger, D., Nagel, T., Urbas, B., Marion, L., & Brus, R. (2017). Nekateri ukrepi za omejevanje velikega pajesena (*Ailanthus al-*

Gorišek, Ž., Plavčak, D., Straže, A., & Merela, M.: Technological properties and usability of Chinese sumac wood in comparison with ash wood

- tissima* (Mill.) Swingle) in smernice za gozdnogojitveno ukrepanje ob vdoru potencialno invazivnih tujerodnih drevesnih vrst v ohranjene gozdove v Sloveniji. *Gozdarski vestnik*, 75(1), 3–20.
- SIST EN ISO 11664-4 (2011). Colorimetry – Part 4: CIE 1976 L\*a\*b\* Colour space. European Committee for standardization, Brussels, Belgium.
- Wagenführ, R., & Scheiber, Chr. (1989). *Holzatlas*. Leipzig : Fachbuchverlag.
- Zhu, J. L., Shi, Y., Fang, L., Liu, X., & Ji, C. (2015). Patterns and determinants of wood physical and mechanical properties across major tree species in China *Science China. Life Sciences* 58(6), 602–612.



## KAKOVOST LEPILNEGA SPOJA MED LESOM IN JEKLOM

## THE QUALITY OF ADHESIVE BOND BETWEEN WOOD AND STEEL

Jaša Saražin<sup>1</sup>, Milan Šernek<sup>1\*</sup>

UDK 630\*824.85

Izvilleček / Abstract

Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

**Izvilleček:** Cilj raziskave je bil ugotoviti primernost izbranih poliuretanskih in epoksidnih lepil za konstrukcijsko lepljenje lesa in jekla. Preizkusili smo štiri poliuretanska lepila COSMO in dve epoksidni lepili ERGO in XEPOX. Kakovost lepilnega spoja smo ovrednotili s testom strižne trdnosti, ki je sledil posameznim postopkom izpostavitve preizkušancev: izpostavitve standardni klimi, z relativno zračno vlažnostjo 65 % in temperaturo 20 °C; izpostavitve vlažni klimi s 87 % vlažnostjo in temperaturo 20 °C; ter različne izpostavitve (namakanje/kuhanje) v vodi. Rezultati so pokazali, da proučevana poliuretanska lepila z vidika kakovosti lepljenja ne morejo konkurirati epoksidnim lepilom. Proučevani epoksidni lepili sta zagotovili odlično kakovost lepljenja v suhih pogojih ter se izkazali kot pogojno primerni za nekonstrukcijsko rabo v vlažnih pogojih. Za uporabo izbranega lepila v konstrukcijskih aplikacijah je bilo izdano priporočilo, da je potrebno lepilni spoj dodatno ojačati z vijaki, ki bi zagotovili zanesljivost spoja v primeru nastopa izjemne vlage ali požara.

**Ključne besede:** les, jeklo, lepila, epoksi, poliuretan, vlažnost

**Abstract:** The aim of the research was to determine the suitability of selected polyurethane and epoxy adhesives for structural bonding of wood and steel. We tested four polyurethane adhesives COSMO and two epoxy adhesives ERGO and XEPOX. The quality of the adhesive bond was evaluated by a shear strength test followed by one of the following exposure tests of the specimens: exposure to the standard climate with 65 % relative humidity and a temperature of 20 °C; exposure to humid climate with 87 % humidity and a temperature of 20 °C; and various exposures (soaking/cooking) in water. The results showed that the polyurethane adhesives studied in this work cannot compete with epoxy adhesives in terms of bonding quality. The epoxy adhesives provided excellent bonding properties in dry conditions, and proved to be potentially suitable for non-structural use in humid conditions. However, in order to use the selected adhesives in construction applications, it is recommended that the adhesive joint should be additionally reinforced with screws to ensure the reliability of the joint in the event of exceptional moisture or fire.

**Keywords:** wood, steel, adhesives, epoxy, polyurethane, moisture

## 1 UVOD

### 1 INTRODUCTION

Lepljenje kovine in lesa že od nekdaj predstavlja svojevrsten izziv. Ta dva popolnoma različna materiala se običajno lepita tudi s popolnoma različnimi lepili. Les kot zelo porozen material se lepi z uporabo visokega tlaka, ki je gonilna sila za zadostno penetracijo lepila in njegovo sidranje v porozno površino med procesom utrjevanja. Pri kovini pa bi zaradi neporoznosti materiala z uporabo visokega tlaka večino lepila iztisnili iz lepilnega spoja.

Prav tako različno je tudi obnašanje teh dveh materialov. Ob spreminjanju klime se dimenzije lesa najbolj spreminjajo z variranjem vlage v lesu, med-

tem ko temperaturne spremembe ključno vplivajo na dimenzijske spremembe kovin. Zelo različna pa je tudi togost materialov, kar se neugodno odraža v neenakomernem raztezanju materialov ob obremenitvi.

Prav zaradi naštetih diametralnih lastnosti lesa in jekla se lepljenja enega z drugim izogibamo. Povezavo med kovino in lesom se tako najpogosteje zagotavlja z vijačenjem. Pomanjkljivost vijačnega spoja pa je v tem, da je le-ta manj tog od lepilnega spoja, poleg tega s samimi vijaki les oslabimo ter ga tudi lokalno preobremenimo. Zaradi naštetega bi lahko, ob zagotovitvi kvalitetnega lepilnega spoja med kovino in lesom, dimenzionirali manjše elemente, ki bi bili med seboj bistveno bolj togo povezani. Tako bi privarčevali pri materialu in masi konstrukcije. Istočasno bi s kvalitetnim lepilnim spojem tudi zmanjšali število vijakov, ki lahko predsta-

<sup>1</sup> Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, SLO

\* e-pošta: milan.sernek@bf.uni-lj.si

vljajo toplotne mostove in niso vedno zaželeni z estetskega vidika.

Lepila, ki se uporabljajo pri lepljenju lesa in kovine, so največkrat epoksidna, poliuretanska in izjemoma tudi resorcinolna (Steiger et al., 2015). Epoksidna lepila so najzanesljivejša in v praksi najpogosteje uporabljena pri lepljenju lesa in kovine (Mravljak, 2014). Prednost poliuretanskih lepil pa je predvsem nižja nabavna cena.

V nadaljevanju je predstavljen nekaj aktualnih področij raziskav na temo lepljenja lesa in jekla. Vlepljanje jeklenih navojnih palic v lesene nosilce je poznano že iz 80-ih let prejšnjega stoletja. Tako vzdolžno kot tudi prečno vlepljanje jeklenih palic z metriskim navojem v nosilce iz lepljenega lamelirnega lesa (GLULAM) ali furnirnega slojnatega lesa (LVL) je bilo na evropskih tleh že dobro raziskano ter tudi v praksi mnogokrat uporabljeno (Tlustochowicz et al., 2011; Steiger et al., 2015). Še vedno pa v številnih raziskavah proučujejo vpliv posameznih klimatskih dejavnikov na kakovost lepilnega spoja med lesom in jeklom ter primernost izbranih lepil za tovrstno uporabo, z namenom povišanja odpornosti lepilnega spoja. Tako povišana vlažnost kot tudi povišana temperatura namreč negativno vplivata na kakovost lepilnega spoja (Mravljak, 2014), zato je lepljenje lesa in jekla zaenkrat omejeno na razreda uporabe 1 in 2 (po Evrokodu 5 (SIST EN 1995-1-1)), ki predvidevata maksimalen delež vlage v lesu 20 % (Steiger et al., 2015).

Proučevanje vpliva povišane temperature je zanimivo z vidika skrajševanja dolgih časov utrjevanja lepil ter zaradi toplotne (požarne) odpornosti samega lepilnega spoja. Les in konstrukcijski lesni kompoziti se v primeru požara obnašajo zelo predvidljivo: pri večjih presekih les počasi zgoreva po obodu, njegovo jedro pa zaradi visoke izolativne sposobnosti ostaja nepoškodovano. Zato je ob primerno dimenzioniranih lesenih presekih objekt lahko še dolgo po začetku požara varen. Če pa je ognju izpostavljena kovina, le-ta kot dober prevodnik hitro prenese toploto do lepilnega spoja. Park et al. (2004) so za dve testirani epoksidni lepili (eno namenjeno gradnji čolnov ter GLULAM konstrukcij, drugo pa s povečano požarno odpornostjo za vlepljanje jekla v betonske konstrukcije) ugotovili, da se občutno nižanje trdnosti lepilnega spoja začne pri 50 °C, medtem ko pri 100 °C ostane le še 30 % trdnosti, v primerjavi s tisto pri 20 °C. Če med požarom ni

prišlo do porušitve spoja, je lahko ta po ohladitvi ponovno dosegel svojo polno trdnost. Verdet et al. (2016) so za proučevana epoksidna in poliuretanska konstrukcijska lepila ugotovili, da je maksimalna temperatura uporabe utrjenega lepilnega spoja 40 °C. Pri obeh lepilih so zabeležili približno 70 % padec prvotne trdnosti že pri temperaturi 70 °C.

Področje obnavljanja starih lesenih konstrukcij, kjer na samem delovišču v obstoječe tramove vlepljajo kovinske elemente, predstavlja drugo zanimivo nišo pri konstrukcijskem lepljenju lesa in kovine. Alam et al. (2009) so smrekove tramove upogibno obremenjevali do porušitve, nakar so jih popravili z uporabo epoksidnega lepila in kovine ali drugega ojačitvenega materiala. Ugotovili so, da so jekleni profili, ki so bili z epoksidnim lepilom vlepljeni v žlebove na zgornji in spodnji strani porušeni tramov, zagotovili višjo upogibno trdnost in togost tramov v primerjavi s stanjem pred porušitvijo. Metelli et al. (2015) so na primerljiv način ojačali macesnov tram v palači iz 15. stoletja. 14-letni monitoring številnih parametrov v ojačanem tramu pa je dokazal primernost metode za tovrstno uporabo. Cenci (2005) poroča o ojačanju približno 200 let starih tramov v stavbi v Benetkah z uporabo epoksidnih lepil in jeklenih palic.

Cilj te raziskave je bil ugotoviti primernost poliuretanskih in epoksidnih lepil za lepljenje lesa in jekla v konstrukcijskih vezeh, v različnih pogojih uporabe. Osredotočili smo se na ugotavljanje vpliva vlage na kakovost lepilnega spoja med smrekovino in jeklom. Ta materiala sta v praksi pogosto uporabljena v konstrukcijah.

## 2 MATERIAL IN METODE

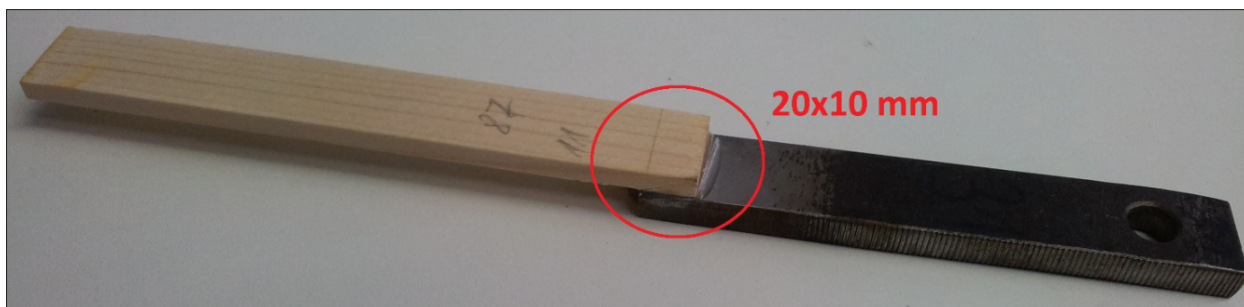
### 2 MATERIALS AND METHODS

#### 2.1 PRIPRAVA MATERIALOV IN LEPLJENJE

##### 2.1 MATERIAL PREPARATION AND BONDING

Testiranje smo izvedli po standardu (SIST EN 205, 2016), vendar s prilagoditvijo glede izbora materialov za lepljenje. Izdelali smo smrekove lamele dimenzij 150 mm × 20 mm × 5 mm, z usmerjenostjo lesnih vlaken med 30° in 90° glede na površino lepljenja, in jeklene lamele dimenzij 120 mm × 20 mm × 8 mm. Pred lepljenjem so bile jeklene lamele zbrušene in razmaščene, lesene lamele pa zbrušene in izpihane. Oba izdelana elementa/lepljenca smo v





Slika 1. Geometrija preklopa lepjenca iz smrekove in jeklene lamele

Figure 1. Geometry of a single-lap test piece made from spruce wood and steel lamellae.

posebej pripravljene šablone preklopili po dolžini za 10 mm, kar je prikazano na sliki 1. Vse površine lepilnih spojev smo merili individualno. Povprečna vrednost vseh testiranih površin je znašala 232 mm<sup>2</sup>. Odvečno lepilo, ki se je iztisnilo iz spoja in bi s tem vplivalo na rezultate, smo odstranili v največji možni meri. Lepljenje je vedno potekalo pri sobnih pogojih.

Z vijaki šablone smo preklope, lepljene s poliuretanskim lepilom (po navodilih proizvajalca), stisnili z 1 MPa tlaka (Škamlec, 2017). Pri preklopih, lepljenih z epoksidnim lepilom, pa so bili uporabljeni distančniki, ki so zagotovili debelino lepilnega spoja med 0,3 mm in 0,5 mm, kar je običajno najmanjša priporočena debelina lepilnega spoja pri epoksidnih lepilih.

Preizkusili smo štiri poliuretanska ter dve epoksidni lepili:

- COSMO PU 100.110 (enokomponentno poliuretansko)
- COSMO PU 180.150 (enokomponentno poliuretansko)
- COSMO PU 190.110 (enokomponentno poliuretansko z dodanimi steklenimi vlakni)
- COSMO PU 200.281 (dvokomponentno poliuretansko)
- ERGO 7420 (dvokomponentno epoksidno)
- XEPOX 40 (dvokomponentno epoksidno)

## 2.2 TEST STRIŽNE TRDNOSTI LEPILNEGA SPOJA

### 2.2 SHEAR STRENGTH TEST OF ADHESIVE BOND

Vsa testirana poliuretanska lepila so deklarirana skladno s standardom (SIST EN 204, 2016) (za nekonstrukcijsko rabo) v najvišji trajnostni razred (durability class) D4, medtem ko epoksidni lepili nista

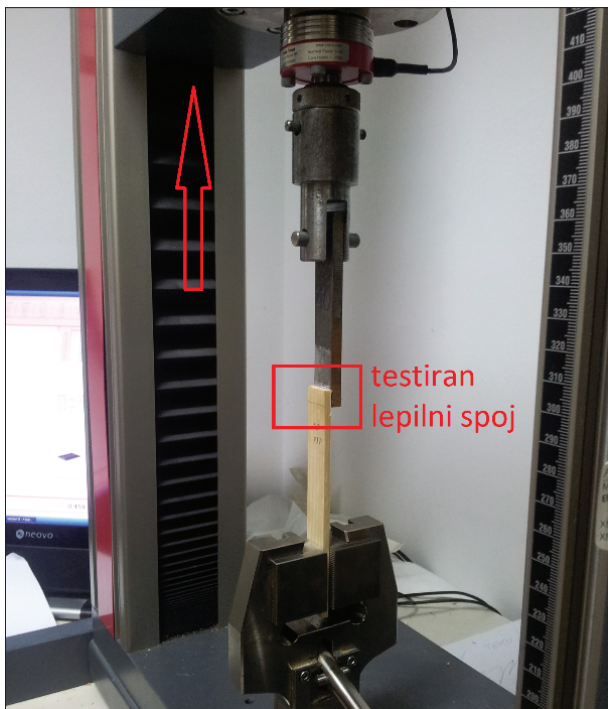
deklarirani po standardih za lepljenje lesa. Standardni postopek za določitev kakovosti lepilnega spoja je test strižne trdnosti, ki sledi predhodni izpostavitvi preizkušancev izbranim klimatskim pogojem. Po pregledu standardov, ki urejajo to področje (SIST EN 204, 2016; SIST EN 12765, 2016; SIST EN 15425, 2017), ter zaradi primerljivosti rezultatov raziskave z drugimi relevantnimi raziskavami (Mravljak, 2014) smo se odločili za tri vrste osnovnih izpostavitvev:

- **Standardna klima (20/65)** - utrjevanje lepila in klimatiziranje preizkušancev v standardni klimi, to je pri relativni zračni vlagi 65 % ± 5 % in temperaturi 20 °C ± 2 °C,
- **Vlažna klima (20/87)** - utrjevanju lepila v standardni klimi je sledilo klimatiziranje preizkušancev pri relativni zračni vlagi 87 % ± 5 % in temperaturi 20 °C ± 2 °C,
- **1 dan v vodi** - utrjevanju lepila v standardni klimi je sledilo 24-urno namakanje v vodi s temperaturo 20 °C ± 5 °C;

ter še dva dodatna tipa izpostavitvev, katerim smo izpostavili samo izbrana lepila, ki so se zadovoljivo izkazala pri predhodnih izpostavitvah:

- **4 dni v vodi** - utrjevanju lepila v standardni klimi je sledilo 4-dnevno namakanje v vodi s temperaturo 20 °C ± 5 °C in
- **Kuhanje v vodi** - utrjevanju lepila v standardni klimi je sledilo 3-urno namakanje v vreli vodi, za tem pa še 2-urno hlajenje v vodi s temperaturo 20 °C.

Strižna trdnost lepilnega spoja je definirana kot kvocient med največjo doseženo silo ( $F_{max}$ ) in površino lepilnega spoja (A). Določali smo jo z nateznim testom preizkušancev, na stroju Zwick Z005, s kon-



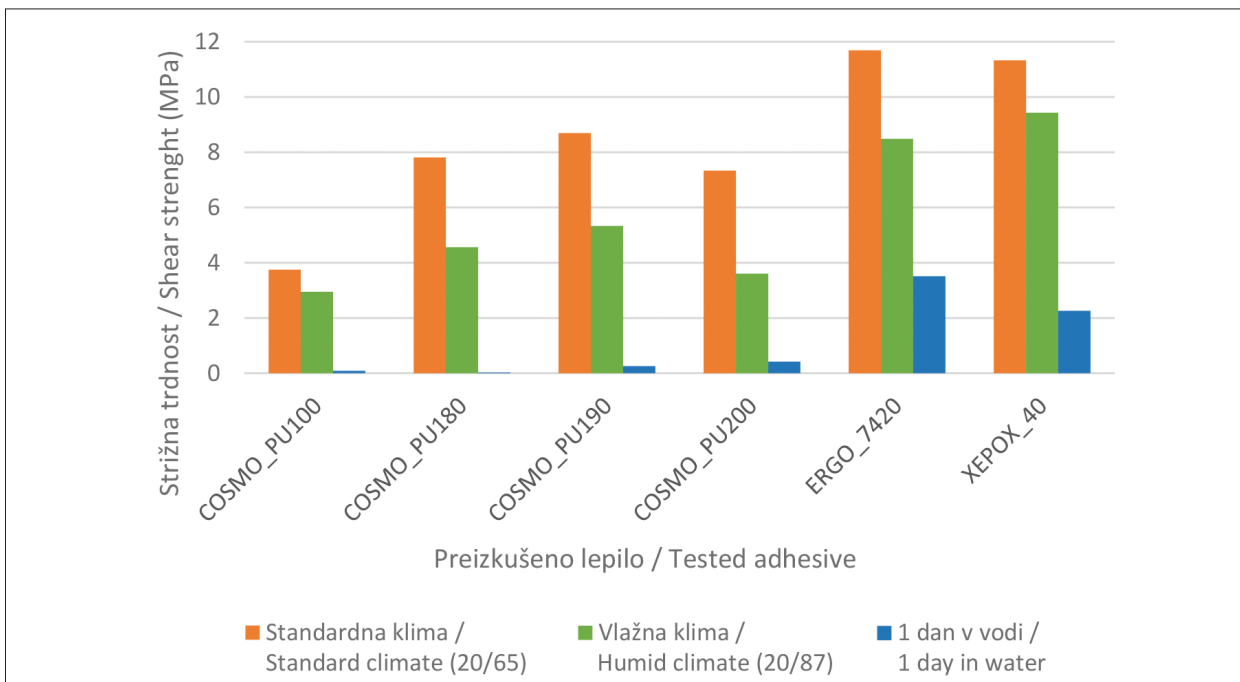
Slika 2. Prikaz vpetja preizkušanca za izvedbo testa strižne trdnosti lepilnega spoja na stroju Zwick Z005.  
 Figure 2. Display of the clamping of the test specimen while performing the shear strength test of the adhesive bond on the Zwick Z005.

stantnim pomikom glave 2 mm/min (slika 2). Za vsako kombinacijo proučevanega lepila in izpostavitve je bilo preizkušenih vsaj 10 preklapov.

Da bi lepilni spoj zadovoljil zahteve lepil za les, bi morala povprečna strižna trdnost spoja v standardni klimi (20/65) doseči vsaj 10 MPa, po namakanjih in kuhanju v vodi pa vsaj 4 MPa. Zaradi prirejenega postopka testiranja z drugimi materiali (smrekovina in jeklo), kot jih predvidevajo standardi (bukovina), sta ti mejni vrednosti služili zgolj za orientacijo.

Pri projektiranju nosilnih konstrukcij so poleg povprečnih vrednosti zelo pomembne tudi karakteristične vrednosti. Te nam povedo, kolikšno vrednost dosega 95 % preizkušancev (5-percentilna vrednost). Karakteristične vrednosti povedo veliko o zanesljivosti lepilnega spoja v posameznih pogojih izpostavitve ter raztrosu dobljenih vrednosti. Vse statistične obdelave podatkov (vključno z ANOVA testom za ugotavljanje statistično značilnih razlik med skupinami ter tudi izračunom 5-percentilnih vrednosti) smo izvedli s programom Microsoft Excel.

Po opravljenem testu strižne trdnosti smo vizualno ocenjevali tudi način porušitve preizkušancev (Saražin & Šernek, 2017). Pojavljali so se trije načini porušitev: adhezivni lom med lepilom in kovino, ad-



Slika 3. Strižna trdnost lepilnih spojev glede na vrsto izpostavitve za preizkušena lepila  
 Figure 3. Shear strength of the adhesive bond for the various adhesives and exposure treatments.

hezivni lom med lepilom in lesom ter kohezivni lom po lesu. Lom po lesu je bil najbolj zaželen, saj je nakazoval, da je bil potencial lepila izkoriščen v celoti. Delež posameznega načina porušitve smo ocenjevali na 5 % natančno.

### 3 REZULTATI IN RAZPRAVA

#### 3 RESULTS AND DISCUSSION

Na sliki 3 so predstavljeni skupni rezultati meritev strižne trdnosti lepilnih spojev po osnovnih izpostavitvah. Vlažnost smrekovih lamel je po klimatiziranju v standardni klimi (20/65) bila 12 %, njihova povprečna gostota pa je pri tej vlažnosti lesa znašala 505 kg/m<sup>3</sup>. Po klimatiziranju v vlažni klimi (20/87) je povprečna vlažnost smrekovih lamel znašala 19 %.

Testirani preizkušanci, ki so bili zlepljeni s poliuretanskimi lepili, niso dosegli orientacijskih mejnih vrednosti. Pri izpostavitvi tako v standardni (20/65), kot tudi v vlažni klimi (20/87), so najvišje strižne trdnosti lepilnega spoja izkazali preizkušanci, zlepljeni z lepilom COSMO PU 190.110, ki ima ojačano strukturo s steklenimi vlakni. Sledili sta mu lepila COSMO PU 180.150 in 200.281, bistveno nižje rezultate od ostalih treh lepil pa je doseglo lepilo COSMO PU 100.110. Po 24-urnem namakanju v vodi je večina preizkušancev, zlepljenih s poliuretanskim lepilom, popustila že pred vpetjem v testirni stroj, preostanek preizkušancev pa se je porušil ob minimalni obremenitvi. Na podlagi dobljenih rezultatov smo zaključili, da testirana poliuretanska lepila niso primerna za lepljenje lesa in jekla za uporabo v vlaž-

nejših pogojih, bi pa najverjetneje lahko bila lepila COSMO PU 190.110, 180.150 in 200.281, ob optimizaciji postopka lepljenja primerna za nekonstrukcijsko lepljenje lesa in jekla za uporabo v suhih pogojih.

Na sliki 3 je razvidno, da sta se pri vseh izpostavitvah najbolje obnesli epoksidni lepili. Zato sta bili izbrani v ožji izbor za nadaljnje proučevanje, ki je zajemalo dodatni izpostavitvi ostrejšim pogojem. V preglednici 1 so prikazane nekatere statistične veličine izbranih epoksidnih lepil glede na izpostavitve preizkušancev pred testiranjem, ki jih predvidevajo standardi.

Povprečni strižni trdnosti obeh epoksidnih spojev sta v standardni klimi presegle orientacijsko mejno vrednost 10 MPa. Prav tako sta se tej vrednosti zelo približali tudi njuni karakteristični vrednosti, kar nakazuje na visoko stopnjo zanesljivosti teh lepilnih spojev. Povprečni vrednosti strižnih trdnosti lepil ERGO in XEPOX nista izkazali statistično značilnih razlik ( $p = 0,41$ ). Pri lomih preizkušancev je prevladoval želen tip porušitve po lesu, v kombinaciji s porušitvijo med lepilom in kasnim lesom.

Razlike med eno- in štiri-dnevnim namakanjem v vodi, tako za lepilo ERGO ( $p = 0,09$ ) kot tudi za lepilo XEPOX ( $p = 0,18$ ), se niso izkazale kot statistično značilne. Povprečne vrednosti strižnih trdnosti so bile sicer bistveno višje kot pri preizkušancih, zlepljenih s poliuretanskimi lepili, vendar vseeno niso dosegale orientacijske mejne vrednosti 4 MPa. Ker razlike med strižnimi trdnostmi, ugotovljenimi po obeh izpostavitvah v hladni vodi niso bile potrjene, je smiselna skupna obravnava rezultatov. Preizku-

*Preglednica 1. Strižne trdnosti lepilnih spojev za izbrani lepila z osnovnimi statističnimi kazalniki*

*Table 1. Shear strength of the adhesive bonds for the studied adhesives with basic statistical indexes.*

Izpostavitev / Exposure	Lepilo / Adhesive	Povprečna vrednost / Average strength (MPa)	St. odkl. (koef. variac.) / St. dev. (coef. varian.) (MPa)	Karakteristična trdnost / Characteristic strength (MPa)	Število preizkušancev / Number of samples
Standardna klima / Standard climate (20/65)	ERGO 7420	11,7	1,2 (10 %)	10,0	24
	XEPOX 40	11,3	1,9 (17 %)	8,7	37
1 dan v vodi / 1 day in water	ERGO 7420	3,5	2,1 (60 %)	1,0	29
	XEPOX 40	2,3	1,9 (83 %)	0,0	74
4 dni v vodi / 4 days in water	ERGO 7420	2,6	2,0 (77 %)	0,1	28
	XEPOX 40	2,9	1,6 (55 %)	0,0	22
Kuhanje v vodi / Boiling in water	ERGO 7420	5,1	3,0 (59 %)	0,3	14
	XEPOX 40	1,8	2,6 (144 %)	0,0	25

šanci, zlepljeni z lepilom ERGO, so tako v povprečju dosegli strižno trdnost 3,0 MPa, ki se mejno statistično razlikuje ( $p = 0,05$ ) od 2,4 MPa, ki so jih dosegli preizkušanci, zlepljeni z lepilom XEPOX.

Največje razlike med preizkušeniema lepiloma so se pokazale pri kuhanju v vodi, kjer so z lepilom ERGO zlepljeni preizkušanci presegli orientacijsko mejno vrednost 4 MPa. Ugotovljena strižna trdnost preizkušancev, zlepljenih z lepilom ERGO (5,1 MPa), je visoko statistično različna ( $p = 0,001$ ) od strižne trdnosti preizkušancev, zlepljenih z lepilom XEPOX (1,8 MPa).

Pri vseh vrstah izpostavitve v vodi so kot najbolj kritične izstopale karakteristične vrednosti strižnih trdnosti lepilnih spojev. Zaradi velikega raztrosa podatkov in posameznih preizkušancev, ki so se porušili že pred vpetjem v testirno napravo, so le-te blizu 0 MPa. Pri preizkušancih, zlepljenih z lepilom XEPOX, je bilo takih ne-testiranih primerov prek 20 %. Pri preizkušancih, zlepljenih z lepilom ERGO, pa je bilo takih primerov bistveno manj, zato so njihove karakteristične vrednosti rahlo višje od 0 MPa.

Po namakanjih v vodi se način porušitve ni bistveno razlikoval med preizkušeniema epoksidnima lepiloma. V povprečju je na 59 % površin do porušitve prišlo med jeklom in lepilom, na 38 % površin se je porušitev zgodila med lesom in lepilom, medtem

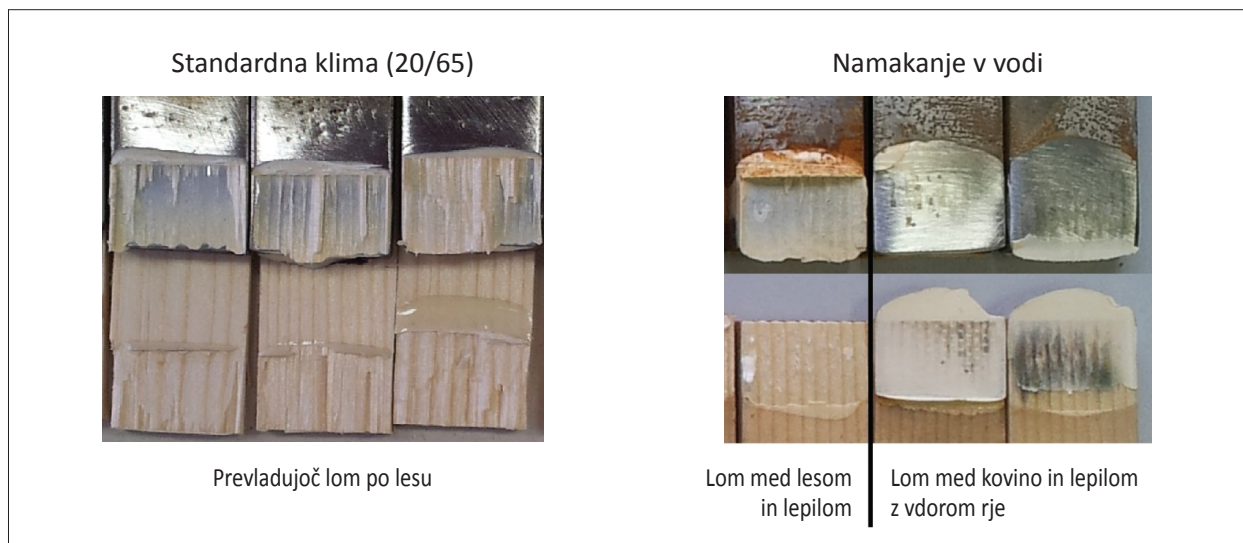
ko je bila porušitev po lesu prisotna na le slabih 3 % površin (Slika 4). So pa bile značilne razlike ugotovljene v protikorozijski odpornosti posameznega lepila. Pri lepilu XEPOX je bila pri eni tretjini preizkušancev, ki so bili namakani v vodi, opažena korozija v spoju (Slika 4 desno). Pri lepilu ERGO pa je bila ta opažena le pri slabi desetini preizkušancev. Pojav korozije je večinoma rezultiral v nizkih strižnih trdnostih preizkušancev (pod 0,5 MPa) in je bil glavni vzrok za nizke karakteristične vrednosti.

Iz ugotovljenega lahko zaključimo, da je uporaba lepila ERGO v splošnem zagotovila kakovostnejši in zanesljivejši lepilni spoj med lesom in jeklom, z večjo povprečno strižno trdnostjo, z višjimi karakterističnimi vrednostmi in nižjimi koeficienti variacije.

#### 4 SKLEPI

#### 4 CONCLUSIONS

Na podlagi rezultatov dosedanjih raziskav smo ugotovili, da proučevana poliuretanska lepila glede kakovosti lepljenja lesa in jekla ne morejo konkurirati epoksidnim lepilom. Izmed vseh preizkušanih lepil sta se le epoksidni lepila ERGO in XEPOX izkazali kot pogojno primerni za lepljenje lesa in jekla. Pri te-



Slika 4. Značilni tipi porušitev lepilnega spoja med lesom in jeklom za preizkušance, lepljene z lepilom XEPOX 40.

Figure 4. Typical types of failure of the adhesive bond between wood and steel. The adhesive used is XEPOX 40. On the left side can be seen the failure of wood in dry conditions, while on the right side the failure between the adhesive and wood or between the adhesive and steel with some presence of corrosion is shown after exposure to water.



stiranja za nekonstrukcijsko uporabo v suhih pogojih sta se obe lepili odlično obnesli, medtem ko pri testiranjih za vlažnejše pogoje nista dosegli zastavljenih vrednosti. Ker standardi za konstrukcijsko lepljenje predvidevajo višjo odpornost lepila na vodo od ugotovljene, nismo mogli nobenega od testiranih lepil opredeliti kot popolnoma primerne za konstrukcijsko lepljenje lesa in jekla.

Tako zaradi višjih povprečnih strižnih trdnosti spoja kot tudi zaradi višje zanesljivosti je bilo kot najboljšo izbrano epoksidno lepilo ERGO. Glede na dobljene rezultate predlagamo, da se pri konstrukcijskem lepljenju lesa in jekla z izbranim lepilom lepilni spoj dodatno ojača z vijaki. Tako bi lepilo zagotovilo želeno togost spoja v normalnih razmerah, v primeru nastanka izrednih klimatskih razmer (prekomerna vlaga ali požar), zaradi katerih bi lahko lepilni spoj začel popuščati, pa bi vijaki prevzeli obremenitev in s tem zagotovili zanesljivost konstrukcijskega spoja.

## 5 POVZETEK

### 5 SUMMARY

A good adhesive bond between wood and steel can result in more rigid connection, compared to one made with screws. The aim of this research was to determine the suitability of selected polyurethane and epoxy adhesives for structural bonding of wood and steel.

We tested four polyurethane adhesives COSMO (PU 100.110, PU 190.110, PU 180.150 and PU 200.281) and two epoxy adhesives ERGO 7420 and XEPOX 40. The quality of the adhesive bond was evaluated by a shear strength test of single-lap specimens (SIST EN 205, 2016) (Figures 1 and 2) followed by various exposure procedures that the specimens were subjected to. The exposures were chosen according to some EN standards for wood adhesives (SIST EN 204, 2016; SIST EN 12765, 2016; SIST EN 15425, 2017) and one earlier study (Mravljak, 2014). Specimens bonded with all the tested adhesives were exposed to three different conditions:

- Standard climate (20/65) with 65 % relative humidity and temperature of 20 °C,
- Humid climate (20/87) with 87 % humidity and temperature of 20 °C and
- Soaking in water at 20 °C for 24 hours.

The adhesives with sufficient results in the first test series were additionally tested also after more demanding exposures in second series:

- Soaking in water at 20 °C for 4 days.
- Cooking in boiling water for 3 hours, followed by cooling down for 2 hours in water at 20 °C.

The goal was to achieve the mean shear strength of the adhesive joint of 10 MPa after testing in a standard climate, and 4 MPa after soaking in water. The results of first test series showed that the studied polyurethane adhesives cannot compete with epoxy adhesives in terms of bonding quality in wood – steel connections (Figure 3), and thus we focused only on epoxy adhesives in the second test series.

Adhesive bonds prepared with both of the studied epoxy adhesives were confirmed to be sufficiently strong (high mean shear strength values) and reliable (high characteristic values = 95 - percentile shear strength values) in dry conditions (Table 1).

After soaking in water, most of the treatment combinations did not achieve the target shear strength (Table 1). In one- and four-day soaking in water (calculated together) ERGO adhesive resulted in a statistically significant ( $p = 0,05$ ) higher shear strength (3,0 MPa) than XEPOX adhesive (2,4 MPa). This difference was even higher after cooking in boiling water (5,1 MPa for ERGO; 1,8 MPa for XEPOX with  $p = 0,001$ ).

An even bigger issue than insufficient mean shear strength was raised by the small characteristic values. These were highly affected by the intrusion of corrosion in some adhesive joints (Figure 4), which resulted in low shear strength ( $< 0,5$  MPa). ERGO adhesive proved to be more resistant to corrosion. Corrosion appeared in each third sample piece bonded with XEPOX adhesive, and in less than each tenth sample piece bonded with ERGO adhesive.

In all the performed tests the epoxy adhesive ERGO 7420 was found to be the best among the tested adhesives for bonding wood and metal. In order to use the selected adhesive in construction applications, we recommend that the adhesive joint should be additionally reinforced with screws. In this manner, the adhesive would provide the desired stiffness of the joint in normal conditions, while the screws would ensure the reliability of the joint in the event of exceptional moisture or fire.

## ZAHVALA

### ACKNOWLEDGEMENTS

Raziskava je bila izvedena v okviru projekta: **TIGR4smart – Trajnostno in inovativno gradbeništvo za pametne stavbe (C3330-16-529003)**. Za pomoč se zahvaljujemo projektnima partnerjema REM d.o.o. in Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo ter študentoma Marku Škamlecu in Juretu Lobniku, ki sta v okviru svojih diplomskih nalog opravila del predstavljenih raziskav.

## VIRI

### REFERENCES

- Alam, P., Ansell, M., P., & Smedley, D. (2009). Mechanical repair of timber beams fractured in flexure using bonded-in reinforcements. *Science direct – Composites*, 40, 95-106.
- Cenci, G. (2005). Risanare a Venezia solo con il legno. *Area legnio*, 20. <http://www.cenci.com/home/images/pdf/AL20.pdf> 6.6.2018
- Metelli, G., Preti, M., & Giuriani, E. (2016). On the delamination phenomenon in the repair of timber beams with steel plates. *Construction and Building Materials*, 102, 1028-1028.
- Mravljak, M. (2014). Vpliv vlažnosti lesa in debeline lepilnega spoja na adhezijo med lesom in jeklom. Doktorska disertacija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, 140 str.
- Park, J-S., Buchanan, A. H., & Lee, J-J. (2006). Fire Performance of Laminated Veneer Lumber (LVL) with Glued-in Steel Rod Connections. *Journal of fire sciences*, 24, 27-46.
- Saražin, J., & Šernek, M. (2017). Strižna trdnost lepilnega spoja med lesom in jeklom. Zbornik. Ljubljana: Slovensko društvo gradbenih konstruktorjev, 39, 219-225.
- SIST (2016). Razvrstitev plastomernih lepil za les za nekonstrukcijsko uporabo (SIST EN 204:2016).
- SIST (2016). Lepila – Lepila za les za nekonstrukcijsko uporabo – Ugotavljanje natezno-strižne trdnosti spojev s preklpom (SIST EN 205:2016).
- SIST (2005). Evrokod 5: Projektiranje lesenih konstrukcij – 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe (SIST EN 1995-1-1:2005).
- SIST (2016). Razvrstitev duromernih lepil za les za nekonstrukcijsko uporabo (SIST EN 12765:2016).
- SIST (2017). Lepila – Enokomponentni poliuretan (PUR) za lesene nosilne konstrukcije – Razvrstitev in zahtevane lastnosti (SIST EN 15425:2017).
- Steiger, R., Serrano, E., Stepinac, M., Rajčić, V., O'Neill, C., McPolin, D., & Widmann, R. (2015). Strengthening of timber structures with glued-in rods. *Construction and Building Materials*, 97, 90–105.
- Škamlec, M. (2017). Kakovost poliuretanskega lepilnega spoja med lesom in jeklom. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, 30 str.
- Trustochowicz, G., Serrano, E., & Steiger, R. (2011). State-of-the-art review on timber connections with glued-in steel rods. *Materials and Structures*, 44, 997–1020.
- Verdet, M., Salenikovich, A., Cointe, A., Coureau, J-L., Galimard, P., Toro, W. M., Blanchet, P., & Delisee, C. (2016). Mechanical Performance of Polyurethane and Epoxy Adhesives in Connections with Glued-in Rods at Elevated Temperatures. *BioResources*, 11(4), 8200-8214.



## KRIŽNO LAMELIRANI LES – LASTNOSTI IN ZAHTEVE

## CROSS-LAMINATED TIMBER – CHARACTERISTICS AND REQUIREMENTS

Bogdan Šega<sup>1</sup>, Milan Šernek<sup>1\*</sup>

UDK 630\*832.286

Izvleček / Abstract

Pregledni znanstveni članek / Review scientific article

**Izvleček:** Križno lamelirani les (KLL) je sodoben gradbeni material, ki se uporablja za nosilne gradbene namene v stanovanjskih in nestanovanjskih objektih. Proizvodnja KLL v zadnjih letih zelo hitro narašča. KLL je primeren za stenske, talne, stropne in strešne elemente pri gradnji hiš, večstanovanjskih stavb, industrijskih in skladiščnih hal ter drugih zgradb in mostov. Izpolnjevanje bistvenih zahtev evropske uredbe o gradbenih proizvodih (CPR) proizvajalci dokazujejo na podlagi začetnega testiranja tipa proizvoda in ugotovitev kontrole proizvodnje v obratu. Leta 2015 je bil sprejet harmoniziran evropski standard za KLL, v katerem so definirane zahteve za vgradne materiale, proizvodnjo in dokazovanje nespremenljivosti lastnosti ter označevanje z oznako CE. V članku so predstavljene tehnologija izdelave in osnovne značilnosti KLL ter vsebina standarda EN 16351.

**Ključne besede:** križno lamelirani les, KLL, EN 16351:2015, testiranje tipa proizvoda, kontrola proizvodnje v obratu (FPC), oznaka CE

**Abstract:** Cross-laminated timber (CLT or X-Lam) is a modern building material used for load-bearing construction purposes in residential and non-residential buildings. CLT production has been increasing rapidly in recent years. CLT is suitable for wall, floor, ceiling and roof elements in the construction of houses, multi-family apartment buildings, industrial and storage halls and other buildings and bridges. Manufacturers demonstrate compliance with the essential requirements of the European Construction Products Regulation (CPR) on the basis of an initial type testing and the findings of a factory production control examination. In 2015, a harmonized European standard for CLT was adopted, which defines the requirements for built-in materials, the production and demonstration of constancy of performance, and the CE marking. The article presents the production technology and basic characteristics of CLT and the content of standard EN 16351.

**Keywords:** Cross-laminated timber, CLT, EN 16351:2015, type testing, factory production control (FPC), CE mark

## 1 UVOD

### 1 INTRODUCTION

Križno lepljeni les oziroma križno lamelirani les (KLL) je sestavljen iz več slojev masivnega lesa, ki so med seboj zlepljeni pod pravim kotom (slika 1). V primerjavi z lepljenim lameliranim lesom, kot so lepljeni nosilci, ima bolj enakomerno porazdeljene lastnosti v vzdolžni in prečni smeri. Zaradi križnega lepljenja je dimenzijsko bolj stabilen, saj je delovanje lesa zmanjšano. Uporablja se za nosilne gradbene namene v stanovanjskih in nestanovanjskih objektih. Primeren je za stenske, talne, stropne in strešne elemente pri gradnji hiš, večstanovanjskih stavb, industrijskih in skladiščnih hal ter drugih objektov. Ima različna komercialna imena oziroma kratice, v angle-

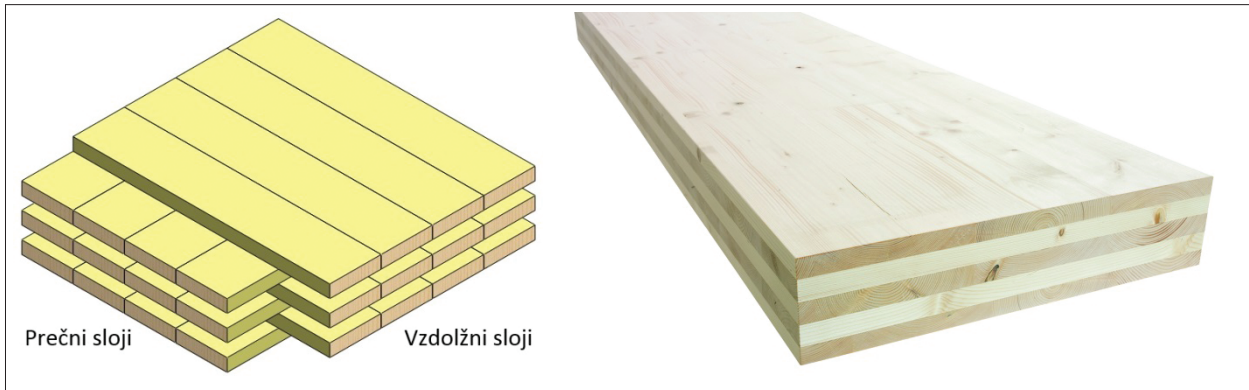
ščini CLT (Cross Laminated Timber) in X-Lam ter v nemščini KLH (KreuzLagenHolz) in BSH (BrettSperr-Holz).

KLL je sodoben lesni kompozit, ki je bil razvit pred več kot dvema desetletjema v Avstriji. V sredini 90. let 20. stoletja se je Avstrija lotila skupnih prizadevanj na področju raziskav, ki so privedla do razvoja sodobnega KLL. Na začetku je bil napredek pri razvoju več let počasen, vendar se je gradnja s KLL v začetku leta 2000 bistveno povečala, delno zaradi prizadevanj zelene gradnje, pa tudi zaradi boljših izkoristkov ter izboljšanih tržnih in distribucijskih kanalov (Gagnon & Pirvu, 2011).

KLL nudi številne prednosti. Postopek križnega lameliranja izdelku zagotavlja izboljšano dimenzijsko stabilnost, kar omogoča predizdelavo širokih in dolgih talnih plošč, stropov, sten in ostrešij. Križno lameliranje rezultira v relativno visoki trdnosti in togosti v ravnini in po robu v obeh smereh, kar daje

<sup>1</sup> Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, SLO

\* e-pošta: milan.sernek@bf.uni-lj.si



Slika 1. Križno lamelirani les (Gagnon & Pirvu, 2011)

Figure 1. Cross-laminated timber (Gagnon & Pirvu, 2011)

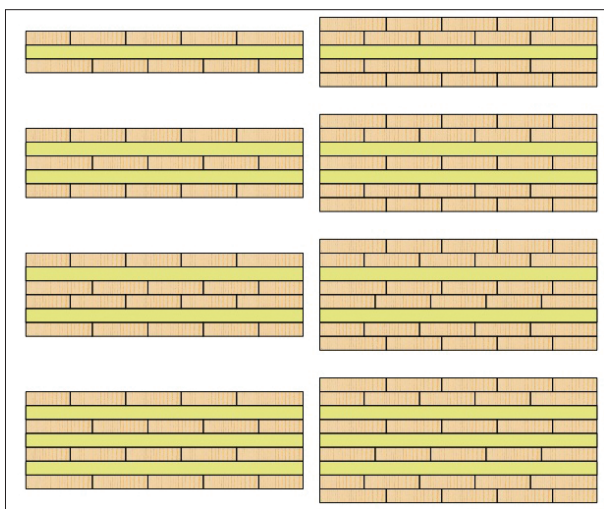
dvosmerno akcijsko sposobnost podobno armirano-betonским ploščam. Enostavna uporaba, visoka stopnja predizdelave, ki omogoča hiter čas izgradnje, dobra toplotna in zvočna izolativnost ter dobra protipotresna odpornost so glavne prednosti križno lameliranih plošč. Dodatni atribut v primerjavi s klasičnimi gradbenimi materiali pa predstavlja les, ki je naraven, neškodljiv in obnovljiv material (Gagnon & Pirvu, 2011).

## 2 SESTAVA IN MATERIALI

### 2 COMPOSITION AND MATERIALS

#### 2.1 SESTAVA

##### 2.1 COMPOSITION



Slika 2. Primeri prerezov KLL (Gagnon & Pirvu, 2011)

Figure 2. Examples of CLT cross sections (Gagnon & Pirvu, 2011)

KLL je običajno v obliki plošč, ki so iz lihega števila slojev (3, 5, 7 ali več), pri čemer je prečni prerez plošče simetričen (slika 2). Debelina posameznega sloja naj bi bila med 12 mm in 45 mm. Vzdolžni sloji so običajno širinsko zlepljeni, medtem ko prečni večinoma niso in se lepijo zgolj ploskovno z vzdolžnimi sloji. Križno lamelirane elemente običajno proizvajajo do dolžine 20 m, širine do 3 m in debeline do 0,5 m. Za izdelavo uporabljajo les iglavcev, kot so smreka, jelka, bor, duglazija in macesen. Les mora biti posušen na vlažnost od 6 do 15 % oziroma 11 do 18 %, če se uporablja zaščiten/impregniran les. Les dolžinsko in širinsko spajajo, nato pa sloje lepijo po debelini v plošče različnih prerezov (Gagnon & Pirvu, 2011).

## 3 PRODUKTNI STANDARD ZA KRIŽNO LAMELIRAN LES

### 3 PRODUCT STANDARD FOR CROSS LAMINATED TIMBER

KLL sodi med klasične gradbene materiale in mora zagotavljati izpolnjevanje osnovnih zahtev evropske Uredbe (EU) št. 305/2011 o gradbenih proizvodih (CPR - Construction products regulation).

Leta 2015 je bil sprejet harmoniziran produktni evropski standard za križno lameliran les (SIST EN 16351, 2015). Standard postavlja zahteve za vgrajene materiale, zahteve za proizvodnjo, zahteve za dokazovanje nespremenljivosti lastnosti ter zahteve za označevanje križno lameliranega lesa z oznako CE. Njegova uporaba je obvezna.

Križno lameliran les, ki ga pokriva ta standard, je lahko izdelan iz na podlagi EN 14081-1 po trdnosti



razvrščenega masivnega lesa iglavcev in topola; vsebuje pa lahko tudi sloje, izdelane iz gradbenih lesnih plošč. Standard velja tudi za križno lamelirani les, ki je zaščiten pred biološkim napadom, ne pokriva pa lesa, zaščitenega z zaviralci gorenja.

V nadaljevanju je na kratko predstavljena vsebina standarda EN 16351.

### 3.1 IZRAZI IN DEFINICIJE

#### 3.1 TERMS AND DEFINITIONS

Po definiciji standarda je križno lamelirani les konstrukcijski les, sestavljen iz vsaj treh slojev, od katerih so vsaj trije med sabo pravokotno spojeni. Vedno vsebuje sloje masivnega lesa, lahko pa vsebuje tudi sloje iz lesnih plošč (furnirne vezane plošče, LVL ali masivne lesne plošče).

### 3.2 KOMPONENTE IN LASTNOSTI IZDELKA, METODE TESTIRANJA IN OCENJEVANJA

#### 3.2 COMPONENTS AND PRODUCT CHARACTERISTICS, TESTING AND ASSESSMENT METHODS

##### 3.2.1 Lastnosti komponent

##### 3.2.1 Components characteristics

###### 3.2.1.1 Les za lamele

###### 3.2.1.1.1 Timber to be used in laminations

Lamele so izdelane iz žaganega lesa debeline 6 mm – 60 mm, ki mora biti razvrščen po trdnosti v skladu z EN 14081-1; podan mora biti trdnostni razred lesa v skladu z EN 338. Ponovna uporaba rabljenega lesa ni dovoljena.

###### 3.2.1.2 Lamele

###### 3.2.1.2 Laminations

Če imajo zobati spoji v lameli ustrezno trdnost (ta mora biti višja od trdnosti masivnega lesa), se za celotno lamelo privzame, da ima enake lastnosti, kot jih imajo deske, iz katerih je izdelana.

###### 3.2.1.3 Sloji iz masivnega lesa

###### 3.2.1.3 Timber layers

Vsak posamezen sloj mora biti izdelan iz lamel istega trdnostnega razreda. Posamezen sloj je lahko izdelan iz lamel, ki so iz različnih lesnih vrst, če imajo te lesne vrste med seboj primerljive lastnosti, zlasti nabrekanje in krčenje.

Upošteva se, da so lastnosti slojev enake lastnostim lamel, iz katerih so sloji narejeni.

###### 3.2.1.4 Sloji iz lesnih plošč

###### 3.2.1.4 Wood-based panel layers

Uporabljajo se lahko samo lesne plošče, ki izpolnjujejo zahteve za uporabo v razredih rabe 2 in 3 po EN 1995-1-1. Tudi tu upoštevamo, da so lastnosti slojev enake lastnostim plošč, iz katerih so sloji narejeni.

###### 3.2.1.5 Lesne vrste

###### 3.2.1.5 Species

Standard EN 16351 velja za križno lameliran les, izdelan iz lamel masivnega lesa in lesnih plošč iz vseh pri nas komercialno uporabljenih vrst iglavcev in topola.

###### 3.2.1.6 Lepila za izdelavo križno lameliranega lesa

###### 3.2.1.6 Adhesives for the production of cross-laminated timber

Lepila morajo zagotavljati trajne spoje. Za izdelavo zobatih spojev v lamelah, širinsko spajanje lamel, ploskovno lepljenje in izdelavo velikih zobatih spojev je potrebno uporabiti ustrezen tip konstrukcijskih lepil. Primerna lepila so:

- fenolna in aminoplastična lepila (npr. MF, MUF, FRF, UF): klasifikacija po EN 301
- z vlago utrjujoča enokomponentna poliuretanska lepila (PUR): klasifikacija po EN 15425
- emulzijska polimerna izocianatna lepila (EPI): klasifikacija po EN 16254

##### 3.2.2 Lastnosti križno lameliranega lesa

###### 3.2.2 Characteristics of cross-laminated timber

Lastnosti križno lameliranega lesa lahko ugotovimo s preskušanjem ali pa na podlagi lastnosti sestavnih delov (proxy lastnosti).

###### 3.2.2.1 Geometrijski podatki

###### 3.2.2.1 Geometrical data

Podane morajo biti: dimenzije prečnega prereza, zgradba, debeline in usmerjenost slojev, prisotnost utorov, prisotnost širinskih spojev in razmerje med širino in debelino lamel.

Skupna debelina križno lameliranega lesa ne sme presežati 500 mm.

Končna debelina posameznega sloja mora biti vsaj 6 mm, ne sme pa preseči 45 mm. Samo pri tri-slojnih KLL so srednji sloji lahko debeli do 60 mm.

Pri ukrivljenih KLL je debelina lamel odvisna od krivinskega radija in trdnosti zobatih spojev.

Da zmanjšamo krivljenje in pokanje lamel, lahko na le-teh izdelamo utore, ki pa ne smejo preseči 90 % debeline lamele in širine 4 mm. Maksimalna širina lamel je 300 mm.

Lamele so lahko med sabo širinsko zlepljene, vendar pa to ni pogoj. Med lamelami v posameznem sloju so lahko prisotne maksimalno 6 mm široke reže (slika 3).

Po debelini mora biti KLL zgrajen vsaj iz treh slojev, vsaj dva izmed njih pa morata biti iz lamel masivnega lesa. V isto smer so lahko usmerjeni največ trije sosednji sloji, skupna debelina vseh treh pa ne sme preseči 90 mm.

Skupna debelina slojev iz lesnih plošč ne sme preseči 50 % celotne debeline KLL.

### 3.2.2.2 Trdnost in togost križno lameliranega lesa

#### 3.2.2.2 Strength and stiffness properties of cross-laminated timber

Pridobiti je potrebno podatke o modulu elastičnosti ter upogibni, tlačni, natezni in strižni trdnosti KLL. Te lastnosti lahko dobimo z:

- navajanjem geometrijskih podatkov in relevantnih lastnosti posameznih slojev,
- s preskušanjem KLL in navajanjem geometrijskih podatkov in relevantnih preračunanih vrednosti za sloje, dobljene s preskusi.

Pri križno lameliranem lesu z velikimi zobatimi spoji je potrebno ugotoviti še karakteristično upogibno trdnost teh spojev.

### 3.2.2.3 Trdnost lepilnih spojev

#### 3.2.2.3 Bonding strength

Trajne in zanesljive lepilne spoje lahko zagotovimo z izbiro ustreznega lepila in upoštevanjem tehnoloških parametrov lepljenja, ki so navedeni v Prilogi I standarda EN 16351 (Minimalne zahteve za proizvodnjo). Kakovost zlepljenosti dokazujemo s preskušanjem:

- trdnosti dolžinskih zobatih spojev v lamelah z upogibnim ali nateznim preskusom zobatih spojev,
- trdnosti lepilnih spojev med sloji s strižnim ali delaminacijskim preskusom,
- trdnosti širinskih spojev med lamelami s strižnim preskusom,
- trdnosti velikih zobatih spojev z upogibnim preskusom.

### 3.2.2.4 Odpornost proti ognju

#### 3.2.2.4 Resistance to fire

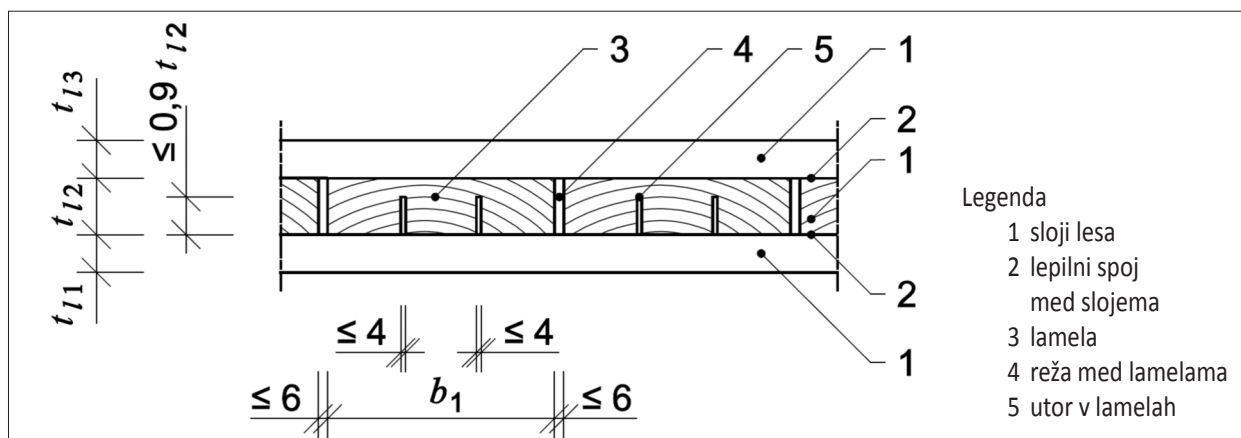
Razred požarne odpornosti križno lameliranega lesa se določi na podlagi:

- razreda požarne odpornosti posameznih slojev lesa (upošteva se vse sloje ali pa samo sloj z najnižjim razredom odpornosti) ali,
- na podlagi preskusa.

### 3.2.2.5 Dimenzijska obstojnost

#### 3.2.2.5 Dimensional stability

Dimenzijske spremembe so posledica spreminjanja vlažnosti lesa pri vlažnostih, nižjih od točke



Slika 3. Dovoljena geometrija utorov in rež (EN 16351, 2015)

Figure 3. Permissible geometry of grooves and gaps (EN 16351, 2015)

nasičenja celičnih sten (TNCS). Pri izračunu deformacij pravokotno na ravnino plošče upoštevamo specifični raztezek  $k_{cor,90} = 0,0024$ , pri izračunu deformacij v ravnini plošče pa  $k_{cor,0} = 0,0002$ .

#### 3.2.2.6 Sproščanje nevarnih snovi

##### 3.2.2.6 Release of dangerous substances

Pri KLL, zlepljenem z lepili, ki vsebujejo formaldehid, se sproščanje formaldehida določi z uporabo komorne metode po EN 717-1. KLL, zlepljen z lepili, ki ne vsebujejo formaldehida, se lahko uvrsti v razred E1.

#### 3.2.2.7 Trajnost

##### 3.2.2.7 Durability

Trajnost KLL je odvisna od trajnosti lepilnih spojev in trajnosti lesa. Če je KLL izdelan samo iz lamel masivnega lesa, je trajnost odvisna od trajnosti najmanj odporne lesne vrste, ki je v izdelku. Navesti je treba samo trajnost te lesne vrste. Če so v KLL vgrajene tudi lesne plošče, moramo dodatno navesti še tehnični razred plošče z najnižjo trajnostjo.

### 3.3 OCENJEVANJE IN PREVERJANJE NESPREMENLJIVOSTI LASTNOSTI (AVPC)

#### 3.3 ASSESSMENT AND VERIFICATION OF CONSTANCY OF PERFORMANCE (AVCP)

Skladnost križno lameliranega lesa z zahtevami produktnega standarda in z lastnostmi, ki so navedene v izjavi o lastnostih (Declaration of Performance - DoP), proizvajalec dokazuje z:

- določitev tipa proizvoda na osnovi začetnega preskusa tipa in
- lastno kontrolo proizvodnje v obratu, ki vključuje tudi oceno izdelka.

Proizvajalec mora imeti vzpostavljen sistem nadzora proizvodnje, ki mu zagotavlja, da izdelki ves čas dosegajo vsaj take lastnosti, kot so navedene v izjavi o lastnostih.

#### 3.3.1 Testiranje tipa proizvoda

##### 3.3.1 Type testing

Za namen ocenjevanja lahko proizvajalec proizvode združi v družine. Če so lastnosti enega produkta iz družine reprezentativne za vse produkte te družine, je dovolj, da se posamezno lastnost preskusi na samo enem proizvodu iz družine.

Preskusiti je potrebno vse lastnosti, ki jih proizvajalec navaja in sicer:

- na začetku proizvodnje novega ali modificiranega KLL, ali
- na začetku uporabe novega ali modificiranega načina izdelave (če to vpliva na navedene lastnosti), ali
- ponovno ob spremembah v zgradbi KLL, ob uporabi novih surovin ali dobaviteljev sestavnih delov, oz. ob spremembah v načinu izdelave, če te spremembe vplivajo na eno ali več lastnosti izdelka.

Kadar se uporabljajo sestavni deli, ki so jih preskusili že dobavitelji, preskušanj ni nujno ponavljati. Obstajati pa morajo specifikacije za te sestavne dele.

V vsakem primeru pa je proizvajalec KLL odgovoren za to, da ima končni izdelek lastnosti enake ali boljše od deklariranih.

V standardu je navedeno število vzorcev, ki jih je treba preskusiti in kriteriji ustreznosti.

Rezultati ugotavljanja tipa proizvoda morajo biti podani v obliki poročil o preskusu. Ta poročila mora proizvajalec hraniti vsaj še 10 let od zadnjega datuma proizvodnje.

Proizvajalec lahko utemelji/upraviči svojo izjavo o lastnostih tudi s t.i. »rezultati v skupni rabi«; to so rezultati določanja tipa proizvoda, ki jih je pridobil nekdo drug (npr. drug proizvajalec, ali razvijalec izdelkov), pod pogojem, da so pri izdelavi izdelka uporabljeni enak design (npr. dimenzije), surovine, sestavine in proizvodni postopek. Možno pa je tudi kaskadno določanje rezultatov tipa proizvoda.

#### 3.3.2 Kontrola proizvodnje v obratu (FPC)

##### 3.3.2 Factory production control (FPC)

Proizvajalec mora vzpostaviti, dokumentirati in vzdrževati sistem FPC, da zagotovi, da so proizvodi, ki jih daje na trg, v skladu z navedenimi bistvenimi lastnostmi.

Kontrola proizvodnje v obratu vključuje postopke, redne nadzorne preglede in preskuse in/ali ocene ter uporabo rezultatov kontrole surovin in drugih vhodnih materialov ali komponent, opreme, proizvodnega postopka in proizvoda.

Dokumentacija sistema FPC zagotavlja osnovno razumevanje postopka ocenjevanja nespremenljivosti lastnosti in omogoča preverjanje doseganja zahtevanih lastnosti izdelka in učinkovito delovanje sistema za nadzor proizvodnje. FPC zato združuje

operativne tehnike in vse ukrepe, ki omogočajo ohranjanje in kontrolo skladnosti proizvoda z deklariranimi bistvenimi lastnostmi.

V primeru, da je proizvajalec uporabil skupne ali kaskadne rezultate preskusov tipa izdelka, mora FPC vključevati vso ustrezno dokumentacijo.

### 3.3.2.1 Zahteve

#### 3.3.2.1 Requirements

Proizvajalec je odgovoren za organizacijo učinkovitega izvajanja sistema FPC. Definirane morajo biti naloge in odgovornosti v organizaciji kontrole proizvodnje; dokumenti pa morajo biti redno posodobljeni.

Opremljene morajo biti odgovornosti, odločanje/vodenje in razmerje med osebjem, ki upravlja, izvaja ali preverja delo, ki vpliva na nespremenljivost lastnosti proizvoda. To velja zlasti za osebje, ki mora sprožiti ukrepe, da se prepreči nastanek nekonstantnih produktov, dejanja v primeru ugotovljenih nekonstantnosti ter prepoznavanje in registracijo težav z nespremenljivostjo izdelka.

Osebje, ki opravlja delo, ki vpliva na nespremenljivost lastnosti proizvoda, mora imeti ustrezne kompetence, pridobljene z ustrezno izobrazbo, usposabljanji in izkušnjami, kar mora biti ustrezno dokumentirano.

Tudi v primerih, ko so določena dela izvedena na podlagi podizvajalskih pogodb, mora proizvajalec obdržati celoten nadzor nad proizvodom.

Vsa oprema za tehtanje, merjenje in preskušanje mora biti kalibrirana in redno preverjana.

Obstajati morajo zapisi o kontroli in vzdrževanju strojev in naprav, ki se uporabljajo pri izdelavi KLL.

Zbirati je treba specifikacije za vse vhodne surovine in komponente.

Proizvajalec pisno opredeli postopke nameščanja oznak in/ali zagotavljanja sledljivosti, na podlagi katerega je mogoče ugotoviti izvor posameznega KLL.

Proizvajalec je zavezan izvajati redno kontrolo proizvodnje. Postopki in navodila morajo biti ustrezno opisani v poslovniku kakovosti, ki naj vsebuje:

- a) organizacijsko strukturo,
- b) postopke za preverjanje ustreznosti lesa in lepljenja,
- c) opis proizvodnega procesa, kontrole proizvodnje in drugih sistemskih aktivnosti, ki jih je potrebno izvajati.

Za lepljenje je treba v t.i. dnevnik lepljenja zapisovati:

- 1) oznako proizvodne linije (če jih je več),
- 2) datum in številko/delovni nalog proizvodnje,
- 3) lesno vrsto in vrsto lesnih plošč,
- 4) trdnostni razred oz. tehnični razred,
- 5) dimenzije in zgradbo križno lepljenega lesa,
- 6) vsebnost vlage,
- 7) čas začetka nanašanja lepila,
- 8) čas začetka in zaključka stiskanja,
- 9) tlak stiskanja,
- 10) podatke o lepilu, npr. smola in utrjevalec,
- 11) nanos lepila ( $\text{g}/\text{m}^2$ ),
- 12) razmerje med smolo in utrjevalcem, kadar je to pomembno,
- 13) podatke o uporabljenih zaščitnih sredstvih,
- 14) temperaturo in relativno zračno vlažnost v skladišču lesa, prostorih, kjer poteka izdelava vezi in prostorih, kjer poteka nanos in utrjevanje lepila,
- 15) podatke o nastavitvi merilcev vlažnosti,
- 16) ime odgovornega člana osebja.

Zagotovljena mora biti sledljivost zapisov; navesti je potrebno vsaj oznako tedna in leta proizvodnje.

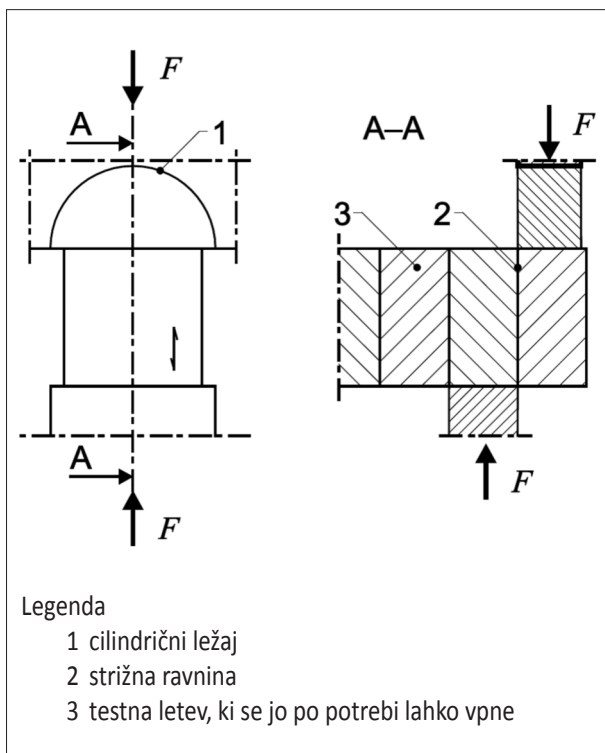
Proizvajalec mora vpeljati postopke, s katerimi lahko zagotavlja vzdrževanje takšnih lastnosti izdelkov, kot jih je navedel v izjavi o lastnostih, in izpolnjevanje minimalnih zahtev za proizvodnjo.

V standardu so navedene lastnosti, ki jih je potrebno navesti oz. preskusiti/oceniti; način testiranja/ocenjevanja; kriteriji ustreznosti; in minimalna frekvenca izvajanja meritev.

Navesti ali oceniti/izmeriti je potrebno mehanske lastnosti slojev lesa in njegovo vlažnost. Vsako izmeno mora proizvajalec na vsaki proizvodni liniji naključno odvzeti dva preskušanca za določitev natezne ali upogibne trdnosti zobatih spojev (pri dolžinsko spojenih lamelah).

Za kontrolo kakovosti ploskovnih lepilnih spojev je nujno za vsako izmeno, ko poteka lepljenje, odvzeti po dva preskušanca, ki vsebujeta celoten prerez KLL, za delaminacijski preskus ali preskusne letve, iz dveh preskušancev s celotnim prereзом, za strižni preskus lepilnih spojev (slika 4).





Slika 4. Naprava za strižni preskus z vstavljen testno letvijo (EN 16351)

Figure 4. Shearing tool with a test bar inserted (EN 16351)

Za kontrolo kakovosti lepilnih spojev, s katerimi so širinsko spojene lamele, je treba preskusiti dva preskušanca na izmeno.

Odpornost križno lameliranega lesa proti ognju se kontrolira z rednim preverjanjem geometrijskih podatkov in gostote lesa (kontrola podatkov na specifikacijah dobaviteljev lesa in lesnih plošč, izjav na računih).

Preverjati je treba dimenzijsko obstojnost, sproščanje/vsebnost nevarnih snovi, trajnost lepilnih spojev; tako, da se preveri, če so uporabljeni ustrezni materiali (vrsta lesa in vrsta lepila). Pri nanosu lepila z nekontaktnimi napravami je treba preverjati ustreznost nanosa lepila in kontrolirati vlažnost lesa ter odpornost lesa proti biološkemu škodljivcu.

Proizvajalec mora pripraviti pisna navodila, ki jih je treba upoštevati v primeru nastanka neskladnih izdelkov. Vsi takšni dogodki morajo biti zabeleženi; takoj je nujno izvesti ustrezne korektivne ukrepe, neustrezni izdelki pa morajo biti izločeni in ustrezno označeni.

3.3.2.2 Začetni pregled obrata in kontrole proizvodnje v obratu

#### 3.3.2.2 Initial inspection of factory and of FPC

Ko je zagotovljeno delovanje tehnološkega procesa, priglašeni organ opravi začetni pregled, pri katerem preveri, če so na voljo vsa potrebna sredstva, njihovo delovanje; če se FPC v praksi izvaja tako, kot je opisano v poslovniku kakovosti; ter če so izdelki skladni z vzorcem DoP, ki velja za nek podoben skladen tip proizvoda.

3.3.2.3 Stalni nadzor kontrole proizvodnje v obratu

#### 3.3.2.3 Continuous surveillance of FPC

Nadzor FPC se izvaja dvakrat letno in vključuje pregled načrtovanih bodočih aktivnosti FPC, pregled vzdrževanja in kalibracij opreme, pregled rezultatov meritev trdnosti lepilnih spojev iz preteklega obdobja ter kontrolo izvedbe korektivnih ukrepov ob pojavih ne-skladnih izdelkov.

### 3.4 OZNAČEVANJE

#### 3.4 MARKING AND LABELLING

Ves križno lameliran les, ki je skladen s produktivnim evropskim standardom, mora biti označen s trajno oznako na površini ali na nanj pritrjeni etiketi.

### 3.5 PRILOGE

#### 3.5 ANNEXES

V prilogah standarda EN 16351 so natančno opisane preskusne metode ter kriteriji in zahteve, ki se uporabljajo pri preskušanju tipa proizvoda in pri testih, ki potekajo v sklopu FPC. Podane so minimalne zahteve za proizvodnjo: zahteve glede usposobljenosti osebja, zahteve za proizvodne in skladiščne zmogljivosti in opremo, ter zahteve za zobate spoje (geometrija zob, vlaga lesa, vrsta lepila, parametri stiskanja), širinsko spajanje lamel in ploskovno lepljenje.

Priloga ZA, ki obravnava označevanje križno lameliranega lesa z oznako CE, je v nadaljevanju prikazana nekoliko podrobneje.

Priloge standarda:

- Sproščanje formaldehida
- Dodatne preskusne metode in zahteve za lepila
- Delaminacijski test lepilnih slojev med sloji
- Strižni preskusi

- E. Preskusi lamel z ali brez dolžinskih zobatih spojev (vključno s kriteriji-merili skladnosti)
  - F. Ugotavljanje trdnosti, togosti in gostote križno lameliranega lesa
  - G. Merjenje vlažnosti
  - H. Separacijski – ločitveni preskus zobatih spojev v lamelah, ki so bili izdelani z brez-kontaktim nanosom lepila
  - I. Minimalne zahteve za proizvodnjo
- ZA. Določbe tega evropskega standarda, ki obravnavajo zahteve Uredbe EU o gradbenih proizvodih

### 3.5.1 Določbe evropskega standarda EN 16351, ki obravnavajo zahteve Uredbe EU o gradbenih proizvodih

#### 3.5.1.1 Clauses of European Standard EN 16351 addressing the requirements of the EU Construction Products Regulation

V prilogi ZA je opisan postopek, ki se uporablja za ocenjevanje in preverjanje nespremenljivosti lastnosti (AVCP) križno lameliranega lesa.

##### 3.5.1.1.1 Postopek ocenjevanja in preverjanja nespremenljivosti lastnosti (AVCP) križno lameliranega lesa

#### 3.5.1.1.1 Procedure for Assessment and Verification of Constancy of Performance (AVCP) of cross-laminated timber

KLL, ki je namenjen za izdelavo konstrukcijskih elementov za zgradbe in mostove, sodi pod sistem 1. AVCP sistem natančno opredeljuje naloge proizvajalca in priglašene organa pri preskušanju tipa proizvoda in izvajanju FPC.

##### 3.5.1.1.2 Izjava o lastnostih (DoP)

#### 3.5.1.1.2 Declaration of performance (DoP)

Proizvajalec z izdajo izjave o lastnostih prevzame odgovornost za skladnost gradbenega proizvoda z navedenimi/deklariranimi lastnostmi.

Za izdelke, ki sodijo v AVCP sistem 1, izda proizvajalec DoP na podlagi:

- kontrole proizvodnje v obratu in rezultatov preskušanja vzorcev, odvzetih v tovarni v skladu s predpisanim načrtom preskušanja, ki jih opravi proizvajalec; in
- potrdila o nespremenljivosti lastnosti, ki ga izda priglašeni organ za certificiranje proizvoda na

podlagi ugotovljenih lastnosti križno lameliranega lesa, ki so bile ugotovljene med preskušanjem tipa (vključno z vzorčenjem), izračunov, tabelarnih vrednosti ali opisne dokumentacije izdelka; in začetnega nadzornega pregleda proizvodnega obrata in kontrole proizvodnje v obratu ter stalnega nadzora, ocenjevanja in vrednotenja kontrole proizvodnje v obratu.

V izjavi o lastnostih morajo biti navedene vse bistvene značilnosti gradbenega proizvoda, tako kot je to določeno v EN 16351. Uredba zahteva, da se vsaj za eno ali več bistvenih značilnosti, ki so pomembne za predvideno uporabo, navede lastnosti. Za bistvene značilnosti, za katere proizvajalec ne navede lastnosti, navede okrajšavo »NPD« (No Performance Determined oz. »Lastnost ni ugotovljena«). V standardu je predstavljen vzorec izjave o lastnostih za KLL.

##### 3.5.1.3 Oznaka CE

#### 3.5.1.3 CE mark

Znak CE mora biti viden, čitljiv in neizbrisen in nameščen na križno lameliran les oz. na etiketo, ki je pritrjena nanj. Kjer takšno označevanje ni mogoče, mora biti oznaka nameščena na embalažo ali v spremljajoči dokumentaciji.

Poleg znaka CE morajo biti na oznaki še:

- a) Zadnji dve številki letnice, ko je bil znak prvič nameščen,
- b) Ime in naslov proizvajalca,
- c) Unikatna oznaka tipa izdelka,
- d) Referenčna številka izjave o lastnostih,
- e) Raven ali razred deklariranih lastnosti (mehan-ske lastnosti, trdnost zlepljenosti, odpornost proti požaru, dimenzijska obstojnost, sproščanje formaldehida ali drugih nevarnih snovi, trajnost lepilnih spojev, odpornost proti biološkim škodljivcem)
- f) Datirana verzija uporabljene harmonizirane tehnične specifikacije,
- g) Identifikacijska številka notificiranega - priglašene organa,
- h) Predviden namen uporabe, kot je navedeno v harmonizirani tehnični specifikaciji.

V standardu je prikazan tudi primer oznake CE.

## 4 ZAKLJUČKI

### 4 CONCLUSIONS

Križno lamelirani les je nov inženirski proizvod iz lesa, ki je v zadnjih letih doživel zelo hiter razvoj. V centralni in zahodni Evropi se njegova uporaba pri gradnji stanovanjskih in nestanovanjskih objektov hitro povečuje.

KLL nudi številne prednosti. Postopek križnega lameliranja izdelku zagotavlja izboljšano dimenzijsko stabilnost, kar omogoča predizdelavo širokih in dolgih talnih plošč, stropov, sten in ostrešij. Križno lameliranje rezultira v relativno visoki trdnosti in togosti v ravnini in izven ravnine v obeh smereh, kar daje dvosmerno akcijsko sposobnost podobno armiranobetonskim ploščam. Enostavna uporaba, visoka stopnja predizdelave, ki omogoča hiter čas izgradnje, dobra toplotna in zvočna izolativnost ter dobra protipotresna odpornost so glavne prednosti križno lameliranih plošč. Dodatni atribut v primerjavi s klasičnimi gradbenimi materiali pa predstavlja les, ki je naraven, neškodljiv in obnovljiv material.

Izpolnjevanje bistvenih zahtev evropske uredbe o gradbenih proizvodih (CPR) proizvajalci dokazujejo na podlagi začetnega testiranja tipa proizvoda in ugotovitev kontrole proizvodnje v obratu. Leta 2015 je bil sprejet harmoniziran evropski standard za križno lamelirani les, v katerem so definirane zahteve za vgradne materiale, proizvodnjo in dokazovanje nespremenljivosti lastnosti ter označevanje z oznako CE. V članku je predstavljena vsebina standarda EN 16351:2015. Podrobneje je predstavljeno poglavje standarda, v katerem je definiran sistem ocenjevanja in preverjanja nespremenljivosti lastnosti (AVPC). Proizvajalec mora imeti vzpostavljen sistem, ki mu zagotavlja, da izdelki, ki jih daje na trg, ustrezajo zahtevam produktnega standarda in da so lastnosti izdelka enake ali boljše od tistih, ki jih je navedel v izjavi o lastnostih (DoP), ki so bile definirane na podlagi testiranja tipa proizvoda. Uporaba ustreznih materialov, izpolnjevanje zahtev za proizvodnjo in zahtev za notranjo kontrolo proizvodnje v obratu proizvajalcu omogoča označevanje izdelkov z oznako CE in prodajo KLL na tržišču evropskega gospodarskega prostora.

## 5 POVZETEK

### 5 SUMMARY

Cross-laminated timber (CLT or X-Lam) is a new engineered wood product, which has undergone very rapid development in recent years. In Central and Western Europe, its use is rapidly increasing in the construction of residential and non-residential buildings. Cross-laminated timber is suitable for wall, floor, ceiling and roof elements in the construction of houses, multi-family apartment buildings, industrial and storage halls as well as for other buildings and bridges.

CLT offers many advantages. The cross-lamination process provides the product with improved dimensional stability, which allows pre-fabrication of wide and long floor plates, ceilings, walls and roofs. Cross-lamination results in relatively high strength and stiffness in the plane and off the plane in both directions, giving a two-way action ability similar to reinforced concrete slabs. Ease of use and a high prefabrication rate, which provide a quick construction time, good thermal and acoustic insulation and good earthquake resistance are the main advantages of cross-laminated timber. An additional attribute compared to conventional building materials is the wood in CLT, which is a natural, harmless and renewable material.

Cross-laminated timber is a structural timber consisting of at least three layers of which a minimum of three are orthogonally bonded, which always comprise timber layers and may also comprise wood-based panel layers. Up to three adjacent layers can be directed in the same direction, and the total thickness of all three must not exceed 90 mm. The boards are made of sawn wood with a thickness of 6 mm to 45 mm (or up to 60 mm in three layers CLT), which must be visually or mechanically strength graded. The total thickness of the layers from wood panels must not exceed 50% of the total thickness of the CLT. Structural plywood, LVL or solid wood panels can be used.

The boards can be longitudinally finger jointed. The following adhesive families are applicable for CLT to provide durable bonds: phenolic and amino-plastic adhesives (e.g. MF, MUF, PRF, UF); moisture curing one-component polyurethane adhesives (PUR) and emulsion polymer isocyanate adhesives (EPI).

The properties of the CLT depend on the properties of the embedded materials and its structure. The strength and stiffness properties of CLT can be obtained either by determination and declaration of geometrical data and relevant properties of the layers (proxy characteristics), or by testing of the final CLT product. In addition to the mechanical properties, it is also necessary to determine the strength and durability of adhesive bonds, the resistance of CLT to fire, dimensional stability, the release of dangerous substances and durability, and, where appropriate, thermal and acoustic insulation.

Manufacturers demonstrate compliance with the essential requirements of the European Construction Products Regulation (CPR) on the basis of an initial type testing and the findings of a factory production control. In 2015, a harmonized European standard for cross-laminated wood was adopted, which defines the requirements for built-in materials, the production and demonstration of constancy of properties and the CE marking. The article presents the content of standard EN 16351:2015. A section of the standard about the Procedure for Assessment and Verification of Constancy of Performance (AVPC) is presented in more detail. The manufacturer must have a system in place to ensure that the products placed on the market comply with the requirements of the product standard and that the product characteristics are equal to or better than those specified in the declaration of performance (DoP) that have been defined in based on product type testing. The use of suitable materials, the fulfilment of production requirements and the requirements for internal factory production control allow the manufacturer to mark products bearing the CE mark and sell CLT in the European Economic Area market.

## VIRI

### REFERENCES

- Gagnon, S., & Pirvu, C. (2011). CLT handbook: cross-laminated timber. Quebec, FPInnovations
- SIST (2005). Lesne plošče - Ugotavljanje sproščanja formaldehida - 1. del: Sproščanje formaldehida po komorni metodi (SIST EN 717-1:2005)
- SIST (2014). Evrokod 5: Projektiranje lesenih konstrukcij - 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe (SIST EN 1995-1-1:2005/A2:2014)
- SIST (2015). Lesene konstrukcije - Križno lamelirani les – Zahteve (SIST EN 16351:2015)
- SIST (2016a). Konstrukcijski les - Trdnostni razredi (SIST EN 338:2016)
- SIST (2016b). Lesene konstrukcije - Po trdnosti razvrščen konstrukcijski les pravokotnega prečnega prereza - 1. del: Splošne zahteve (SIST EN 14081-1:2016)
- SIST (2016c). Lepila - Emulzijsko polimerizirani izocianat (EPI) za nosilne lesene konstrukcije - Razvrstitev in zahtevane lastnosti (SIST EN 16254:2014+A1:2016)
- SIST (2017a). Lepila na osnovi fenolov in aminoplastov za nosilne lesene konstrukcije - Razvrstitev in zahteve za delovanje (SIST EN 301:2017)
- SIST (2017b). Lepila - Enokomponentni poliuretan (PUR) za nosilne lesene konstrukcije - Razvrstitev in zahtevane lastnosti (SIST EN 15425:2017)
- Uredba (EU) št. 305/2011 Evropskega parlamenta in sveta z dne 9. marca 2011 o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov in razveljavitvi Direktive Sveta 89/106/EGS. Uradni list Evropske unije. 39 str.





## KONCEPTUALNI MODEL DIGITALIZACIJE IZOBRAŽEVANJA: PRIMER VISOKOŠOLSKEGA IZOBRAŽEVANJA V LESARSTVU V SLOVENIJI

### CONCEPTUAL MODEL OF DIGITALIZATION OF EDUCATION: THE EXAMPLE OF HIGHER EDUCATION IN THE WOOD SECTOR IN SLOVENIA

Jože Kropivšek<sup>1\*</sup>

UDK 630\*945.3:37.018.43:004

Izvleček / Abstract

Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

**Izvleček:** Razvoj digitalne družbe in sodobnih informacijsko-komunikacijskih tehnologij (IKT) s sabo prinaša veliko priložnosti za napredek, a tudi številne izzive. Največje probleme predstavlja predvsem pomanjkanje digitalnih veščin in spretnosti. Tudi izobraževalni proces, katerega rezultat so kompetence, prilagojene digitalni dobi, se mora zaradi tega razvoja spremeniti. Digitalizacija izobraževalnega procesa in uporaba sodobnih IKT pri njegovi izvedbi je ena izmed možnih rešitev. Glavni cilj raziskave je bil raziskati dobre prakse in tehnologije za digitalizacijo izobraževalnega procesa in razviti konceptualni model digitalizacije visokošolskega izobraževanja, s poudarkom na visokošolskem izobraževanju v lesarstvu v Sloveniji. Ker je digitalizacija izobraževalnega procesa celovit projekt, ga je treba izvesti na več ravneh s poudarkom na njegovi didaktični, vsebinski, tehnološki in organizacijski plati. V raziskavi smo podrobno preučili tudi stanje digitalizacije visokošolskega izobraževanja lesarstva v Sloveniji. Ugotovili smo, da je stanje razpoložljive IKT in tehnična podpora, kot tudi splošna digitalna pismenost tako študentov kot pedagoških delavcev dobra, vendar je še vedno precej možnosti za izboljšave.

**Ključne besede:** digitalizacija, Industrija 4.0, e-izobraževanje, visokošolsko izobraževanje, IT, lesarstvo, didaktika, Slovenija

**Abstract:** The development of digital society and Information and Communication Technologies (ICT) brings many opportunities for progress, but is also very challenging. The main problem is a big gap in digital competences. In addition, the educational process, the results of which are competences adapted to digital era, needs to be adapted and changed because of this development. Digitalization of the educational process and the use of modern ICT in its implementation is one of the possible solutions to this problem. The goal of the research is to examine the best practices and technologies for digitalization of education and to develop a conceptual model for the digitalization of higher education with emphasis on higher education in the wood sector in Slovenia. Since digitalization of the educational process is a comprehensive project, it needs to be carried out at several levels with emphasis on the didactic, content, technological and organizational aspects. The state of digitalization of higher education in wood technology in Slovenia was studied in detail. The available ICT and technical support, as well as general digital literacy of both students and educators, are considered to be good, although there is still a lot to be improved.

**Keywords:** digitalization, Industry 4.0, e-learning, higher education, ICT, wood industry, didactics, Slovenia

## 1 UVOD

### 1 INTRODUCTION

Globalizacija in hiter razvoj informacijsko-komunikacijskih tehnologij (IKT) povzročata v sodobnih družbah velike strukturne spremembe. Nastaja tako imenovana družba znanja oz. digitalna družba (imenovana tudi pametna »smart« družba (Keidanren, 2016). Razvoj digitalne družbe s sabo prinaša sicer

veliko priložnosti za napredek, a tudi številne izzive. Z dostopnostjo do velikih količin podatkov in informacij prek sodobnih (digitalnih) medijev se je potencialna stopnja znanja družbe povečala, vendar to v praksi ne prinaša vedno napredka. Največje težave predstavljajo količina in kakovost informacij ter njihova neenakomerna razpršenost, predvsem pa pomanjkanje digitalnih veščin in znanj, s katerimi te informacije (pre)poznamo in uporabimo, predvsem pa izkoriščamo prednosti sodobne IKT in se znamo zavarovati pred njenimi nevarnostmi. Ena izmed prioritov Evropske komisije je vzpostavitev enotnega di-

<sup>1</sup> Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, SLO

\* e-pošta: joze.kropivsek@bf.uni-lj.si

gitalnega evropskega prostora, katerega pomemben cilj je omogočanje, da ima vsakdo potrebna digitalna znanja (European Commission, 2015). Raziskave potrjujejo, da skoraj polovica prebivalcev EU še vedno nima osnovnih digitalnih spretnosti in kompetenc (glej: "The Digital Economy and Society Index (DESI)", European Commission, 2018c). Tudi gospodarstvo na področju digitalizacije doživlja velike spremembe, vendar ima kar 82 % slovenskih podjetij nizek digitalni indeks (ta meri intenzivnost uporabe IKT v podjetjih), v proizvodnih podjetjih je le-ta še nekoliko slabši (Zupan, 2018). To je nedvomno tudi rezultat slab(še) digitalne pismenosti zaposlenih. Zato razvite družbe vidijo rešitev v stalnem, vseživljenjskem izobraževanju, kar je tudi ena izmed ključnih usmeritev razvoja Evropske Unije in njenih držav članic (European Commission, 2018a). V ta namen so na evropski ravni na voljo številni programi in iniciative: npr. Erasmus+, "Rethinking Education initiative" ipd. Vse to ima pomemben vpliv na nacionalne strategije na področju izobraževanja in razvoja kompetenc, ki se kažejo v številnih projektih (npr. Kompetenčni centri) in tudi na vseh nivojih formalnega izobraževanja. Kot omenjeno, ima za obliko in vsebino izobraževalnega procesa velik pomen sodobna IKT, in sicer z dveh vidikov: (1) na eni strani se skozi novo industrijsko revolucijo (Industrija 4.0.) dotika vseh segmentov življenja in družbe, kar zahteva od ljudi nove spretnosti, znanja in kompetence, (2) po drugi strani pa spreminja tudi izobraževalni proces, katerega rezultat so te kompetence. Potrebujemo torej nova znanja in kompetence, ki pa jih lahko dobimo na drugačen način. Digitalizacija in njen pomen pri razvoju industrije je bila izpostavljena tudi v okviru ključnih spodbujevalnih tehnologij (Commission of the European Communities, 2009).

Industrija 4.0. je bila prvič omenjena v Nemčiji leta 2011 in simbolizira začetek četrte industrijske revolucije (Lasi et al., 2014). Predstavlja sodobne tehnološke trende avtomatizacije in ustvarja t.i. virtualno-fizične sisteme (angl. »cyberphysical systems«), tehnološko pa se kaže predvsem v »internetu stvari« (angl. »Internet of Things (IoT)«) in računalništvu v oblaku (angl. »cloud computing«) (Xu et al., 2018). Implementacija tega koncepta se je prvenstveno dogajala na nivoju (proizvodnih) podjetij, v zadnjih letih pa se seli v vse vidike delovanja družbe. V okviru EU je ena izmed krovnih strategij na tem področju strategija pametne specializacije (S3)

(European Commission, 2017b). Tudi v Sloveniji je udejanjenje tega koncepta pomemben del gospodarske politike države, kar se kaže tudi preko strategij pametne specializacije (S4), kot pomembne platforme za usmerjanje razvojnih investicij v področja, kjer ima Slovenija kritično maso zmogljivosti, znanja in kompetenc, ter je izražen visok inovacijski potencial, tudi v globalnem merilu (Republic of Slovenia, 2018).

Izobraževalni proces, katerega rezultat so kompetence, prilagojene novi, digitalni dobi, se mora temu prilagoditi. Že leta 2008 je UNESCO (UNESCO, 2008) postavil sodobne standarde za učitelje, ki so v pomoč razvijalcem in izvajalcem študijskih programov. Pomemben del smernic so tudi digitalne vsebine in veščine. Za izobraževalne institucije je torej zelo pomembno, da sledijo tem smernicam, če želijo pri svojem delu in poslanstvu biti učinkovite in uspešne. Na Univerzi v Ljubljani v zvezi s tem potekajo številni projekti, med katerimi je tudi projekt »Digitalna UL – z inovativno rabo IKT do odličnosti«, katerega namen je razvijanje inovativnih učnih okolij in uvajanje metod ter pedagoških praks z vključevanjem novih tehnologij (Digitalna UL, 2018).

Digitalizacija izobraževalnega procesa in uporaba sodobnih IKT pri njegovi izvedbi je ena izmed možnih rešitev. Gre torej za neposredno implementacijo koncepta Industrija 4.0 v izobraževalni proces. To vključuje tudi vzpostavitev e-učilnice in s tem osnovne infrastrukture za implementacijo ostalih sodobnih pristopov in tehnologij za podporo izobraževalnemu procesu. Obseg in globina digitalizacije izobraževanja morata biti prilagojena specifikam področja, pogosto pa je uvedba vseh možnosti pogojena tudi s povsem ekonomskimi, organizacijskimi in sistemskimi zahtevami. Posebej pomembne pri tem so kompetence pedagogov, med katerimi so poleg strokovnih in pedagoških kompetenc posebej pomembne digitalne kompetence (European Commission, 2018b). Digitalne kompetence pedagoških delavcev so preučevali številni raziskovalci (npr. From, 2017; Bates, 2016; Krumsvik et al., 2016; Krumsvik, 2014; Ferrari, 2012; Lakkala et al., 2011), zato je tudi veliko različnih definicij. Skupno vsem je, da za pedagoške delavce ni dovolj samo temeljna digitalna pismenost (učinkovita uporaba sodobne IKT), ampak predvsem suverena uporaba sodobnih digitalnih orodij in tehnologij v novih didaktičnih pristopih. Od njih torej pričakujemo temeljno, didaktično in profesionalno orientirano digitalno kompetenco (Ottestad et al., 2014). From

(2017) jo poimenuje »pedagoška digitalna kompetenca«, ki se nanaša na »sposobnost konsistentne uporabe pristopov, znanj in veščin IKT podprtega poučevanja, vključujoč načrtovanje, izvedbo in evalvacijo ..., z namenom podpreti proces učenja/študija na najboljši možni način“. Vključuje torej digitalno pismenost in nove didaktične pristope.

Na področju lesarstva je bilo v zadnjih letih precej storjenega na izboljšanju kompetenc, saj je bilo ugotovljeno, da poslovni izzivi, s katerimi se podjetja soočajo sedaj, zahtevajo visoko stopnjo znanj zaposlenih (Humar et al., 2012). Izvedena sta bila dva projekta KOCles (2012-2015) in KOCles 2.0 (v letih 2016 do 2018), katerih namen je bil izboljšati stanje kompetenc v lesarstvu za različne profile zaposlenih. Tako je bil v letu 2013 izdelan »Model kompetenc za lesarstvo« (Kropivšek et al., 2013), kjer je med 91 kompetencami, ki so bile izpostavljene v tem modelu, kar 15 povezanih z digitalno pismenostjo. Za izboljšanje stanja kompetenc je bilo uspešno izvedenih veliko namenskih izobraževanj (Kropivšek & Zupančič, 2016). V lesni industriji se tudi podobno kot v drugih panogah pripravljajo na uvajanje novih z Industrijo 4.0 povezanih konceptov. S tem se v lesarstvu pojavljajo nove tehnologije in koncepti, ki bodo poleg strogo tehnoloških učinkov spodbudili tudi razvoj poslovnih modelov podjetij. Temu se mora prilagoditi tudi izobraževanje v lesarstvu, tako formalno izobraževanje mladih lesarskih strokovnjakov kot za prenos izsledkov najnovejših raziskav v prakso preko izobraževalnih modulov za dvig kompetenc že zaposlenih strokovnjakov v gospodarstvu.

Glavni cilj raziskave je bil raziskati dobre prakse in tehnologije za digitalizacijo izobraževalnega procesa in razviti konceptualni model digitalizacije visokošolskega izobraževanja, s poudarkom na visokošolskem izobraževanju lesarstva v Sloveniji. V ta namen smo na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani analizirali uporabo sodobnih pristopov in tehnologij, ki omogočajo izvedbo e-izobraževanja.

## 2 MATERIALI IN METODE

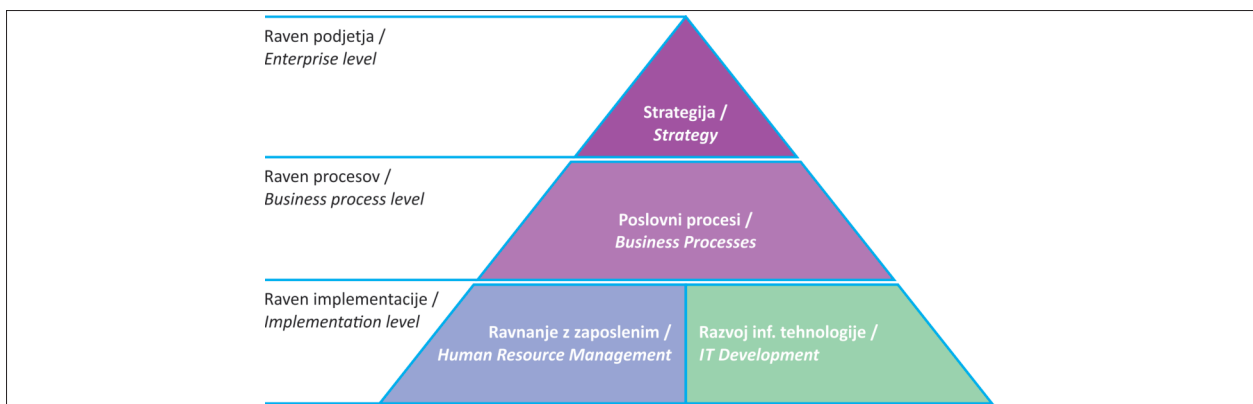
### 2 MATERIAL IN METHODS

#### 2.1 ANALIZA DOBRIH PRAKS IN TEHNOLOGIJ ZA DIGITALIZACIJO IZOBRAŽEVALNEGA PROCESA

#### 2.1 ANALYSIS OF GOOD PRACTICES AND TECHNOLOGIES FOR DIGITALIZATION OF THE EDUCATIONAL PROCESS

Za analizo dobrih praks smo posebej podrobno preučili različne evropske in nacionalne strateške politike in iniciative ter raziskave s področja uvajanja različnih digitalnih tehnologij na različne stopnje izobraževanja. Ta del raziskave je temeljil na študiju literature.

Pri oblikovanju konceptualnega modela izobraževanja smo izhajali iz Harmonove piramidalne zasnove procesnega managementa (Harmon, 2014), kjer je poudarek na štirih temeljnih področjih (slika 1): strateška usmeritev, poslovni proces, IT razvoj in podpora ter razvoj kadrov; prva je del nivoja podjetja/organizacije, druga je na nivoju procesa in zadnji dve na nivoju izvedbe.



Slika 1. Piramidalna zasnova procesnega managementa »The BPTrends Associates Pyramid« (poenostavljeno; Harmon 2014).

Figure 1. The pyramidal concept of process management "The BPTrends Associates Pyramid" (simplified; Harmon 2014).

## 2.2 ANALIZA STANJA DIGITALIZACIJE IZOBRAŽEVANJA V LESARSTVU V SLOVENIJI Z ANKETIRANJEM IN ANALIZO DNEVNIŠKIH ZAPISOV

### 2.2 ANALYSIS OF DIGITALIZATION OF EDUCATION IN WOOD TECHNOLOGY IN SLOVENIA BY CONDUCTING A SURVEY AND ANALYSNG THE DAILY E-CLASSROOM USAGE

Želeli smo preveriti digitalno pismenost ter stališče pedagoških delavcev in študentov do uporabe IKT v študijskem procesu, posebej glede uporabe e-učilnice, zato smo izvedli on-line anketo prek portala 1ka (www-1ka.si). Anketa je bila poslana 41 pedagoškemu delavcem na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, od katerih jih je 27 anketo izpolnilo. Poleg tega smo anketo posredovali tudi vsem 156 aktivnim študentom lesarstva na tem oddelku, vseh smeri in letnikov. Na anketo se je odzvalo 116 študentov. Anketo smo med študenti izvedli v času od 23. 4. 2018 do 14. 5. 2018, med zaposlenimi pa v času od 10. 5. 2018 do 21. 5. 2018. Anketa z nekaterimi podobnimi vprašanji je bila na Oddelku za lesarstvo izvedena tudi leta 2011. Takrat se je nanjo odzvalo 20 pedagoških delavcev in 106 aktivnih študentov lesarstva.

Anketa za študente je bila sestavljena iz 14, za pedagoške delavce pa iz 10 vprašanj. Vprašalnik je bil v obeh primerih sestavljen iz zaprtega tipa vprašanj z enim možnim odgovorom. V večini vprašanj smo uporabili 4-stopenjsko Likertovo lestvico. Podatke smo nato analizirali v Microsoft Excel 2016. Podlaga za analizo je bila frekvenčna distribucija, ki je tabelarični povzetek podatkov, ki kažejo število (pogostost opazovanj v vsaki od več kategorij ali razredov, ki se ne prekrivajo (Košmelj, 2007; Anderson et al., 2015). Frekvenca razreda  $j$  je označena kot  $f_j$ . Za primerjavo frekvenc različnih razredov se uporablja relativna frekvenca. To pomeni, da je frekvenca razreda enaka deležu opazovanj, ki spadajo v razred. Običajno je prikazana s procentno frekvenčno distribucijo,  $f_j\%$ :

$$f_j\% = \frac{f_j}{N} * 100$$

kjer je:  $f_j$  frekvenca razreda  $j$  in  $N$  število opazovanj.

Nekatere rezultate ankete smo primerjali z rezultati ankete, ki je bila na isto temo izvedena v okviru projekta »Digitalna UL – z inovativno rabo IKT od odličnosti« (Digitalna UL, 2018).

Za ugotavljanje dejanske rabe e-učilnice (platforma Moodle) s strani uporabnikov smo izvedli analizo dnevniških zapisov vseh aktivnosti v e-učilnici (za študijsko leto 2017/18 – za obdobje 11. 6. 2017 do 11. 6. 2018). V vzorcu je zajetih 260 študentov in 24 pedagoških delavcev, ki so skupaj ustvarili 93.328 dogodkov (klikov). Pri tej analizi smo posebno pozornost namenili grupiranju podatkov v primerljive skupine aktivnosti in izračunavanju frekvenc (glej zgoraj) ter deležev (relativnih frekvenc – glej zgoraj), da smo lahko te podatke med sabo primerjali.

## 3 REZULTATI IN DISKUSIJA

### 3 RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1 DOBRE PRAKSE IN PLATFORME ZA DIGITALIZACIJO IZOBRAŽEVANJA

##### 3.1 BEST PRACTICES AND PLATFORMS FOR DIGITALIZATION OF EDUCATION

EU je novembra 2017 sprejela informativno listo o akcijskem načrtu digitalnega izobraževanja ("The Fact Sheet on the Digital Education Action Plan") v zvezi s spretnostmi, povezanimi z digitalizacijo, kibernetsko varnostjo, medijsko pismenostjo in umetno inteligenco. V skladu s tem digitalizacija preoblikuje naravo dela in predstavlja nove izzive. Ocenjujejo, da bo kar 90 % novih delovnih mest v prihodnjih letih zahtevalo digitalne kompetence (European Commission, 2017a). To bo za EU velik problem, saj skoraj polovica prebivalcev EU še vedno nima osnovnih digitalnih spretnosti in kompetenc (European Commission, 2018c). Prednostne naloge v tem primeru so: (1) izboljšanje digitalnih tehnologij za poučevanje in učenje, (2) razvijanje ustreznih digitalnih kompetenc in spretnosti za digitalno transformacijo (tudi programi kot so "teach a teacher") in (3) izboljšanje izobraževalnega sistema skozi izboljšano analizo podatkov in s predvidevanjem (z uvedbo umetne inteligence in učenja) (European Commission, 2017a).

Na področju digitalizacije izobraževanja je vedno več programov, iniciativ in standardov, ki usmerjajo načrtovalce nacionalnih in institucionalnih politik, npr. ICT competency standards for teachers (Unesco, 2008), Digital Competence Framework for Educators (DigCompEdu, 2017). Že leta 2012 je bilo v obsežnejši raziskavi identificiranih in natančneje opisanih kar 15 takšnih primerov (Ferrari, 2012).

Stanje izobraževanja v EU na vseh nivojih ni v skladu s pričakovanji razvoja digitalne družbe. Izobra-



ževalni proces mora zagotavljati dvig digitalnih kompetenc slušateljev, razvoj in razpoložljivost prosto dostopnih učnih virov (MOOC - massive open online courses), spremenjeno vlogo sodobnih IKT orodij za povečanje učinkovitosti in kakovosti učnega procesa ter povezovanje izobraževalnih ustanov z gospodarstvom in drugimi uporabniki (European Commission, 2014). Na tem področju se v zadnjih letih dogaja velik razvoj. Shah (2018) je ugotovil, da je skupno število MOOC uporabnikov že okoli 81 milijonov (v zadnjem letu se je pridružilo okoli 23 milijonov novih uporabnikov). Največji MOOC ponudniki glede na število registriranih uporabnikov so: Coursera (30 milijonov), edX (14 milijonov), XuetangX (9,3 milijona) in Udacity (8 milijonov uporabnikov). Tudi število dodanih novih MOOC predavanj/tečajev se v zadnjih letih močno povečuje; lani je bilo tako denimo dodanih 6850 novih MOOC, skupna številka pa je lani presegla 9400. Do sedaj je več kot 800 univerz po vsem svetu lansiralo vsaj en MOOC. Med njimi najdemo veliko vodilnih svetovnih univerz, kot sta Harvard in MIT (Shah, 2018).

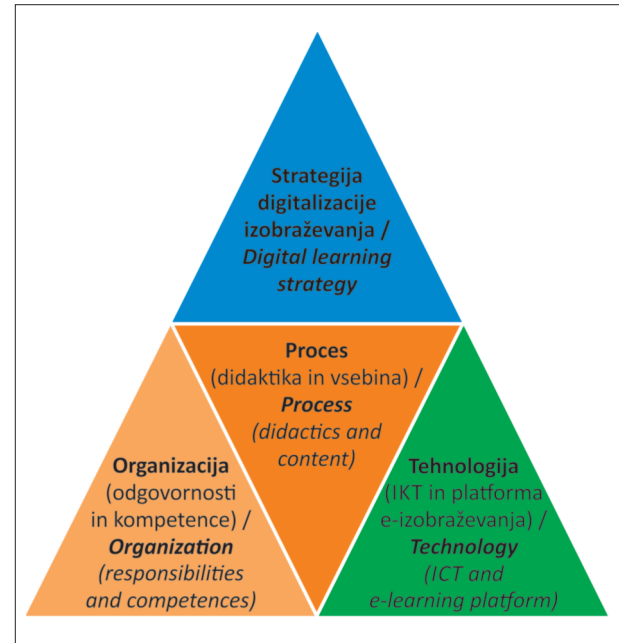
Da gre za res pomemben in velik trg z ogromnim potencialom rasti v prihodnje, se strinjajo številni raziskovalci, ki ocenjujejo, da bo globalni trg e-izobraževanja rasel za več kot 7% letno in bo do leta 2022 presegel 275 milijard dolarjev (Reuters, 2017) in v letu 2025 dosegel 331 milijard dolarjev (Richardson, 2018). Tehnologije, ki omogočajo e-izobraževanje, so t.i. (spletne) učne platforme in sistemi (angl. LMS - Learning Management System). Teh sistemov je veliko, razlikujejo pa se predvsem po odprtosti, tehnični podpori in prijaznosti za uporabnike (Capterra, 2018, Martinez, 2018; Hill, 2017; Couture, 2017). Po tržnem deležu med prvimi petimi najdemo: Moodle, Blackboard, Edmodo, SAP SuccessFactors in SkillsSoft (Capterra, 2018).

### 3.2 KONCEPTUALNI MODEL DIGITALIZACIJE VISOKOŠOLSKEGA IZOBRAŽEVANJA V LESARSTVU

#### 3.2 CONCEPTUAL MODEL OF DIGITALIZATION OF HIGHER EDUCATION IN THE WOOD SECTOR

Pri razvoju konceptualnega modela digitalizacije visokošolskega izobraževanja v lesarstvu smo sledili smernicam za izobraževalne ustanove (European Commission, 2014), med katerimi je posebej izpostavljeno, da mora: (1) podpirati inovativna po- učevalna in učna okolja, vključno z razpoložljivostjo

prosto dostopnih učnih virov, (2) zagotoviti, da so instrumenti za preglednost in priznavanje formalnega izobraževanja prilagojeni novim oblikam učenja, vključno s potrjevanjem na spletu pridobljenih spretnosti in (3) podpirati učitelje pri doseganju visoke stopnje digitalnih (pedagoških) kompetenc.



Slika 2. Konceptualni model digitalizacije visokošolskega izobraževanja v lesarstvu.

Figure 2. Conceptual model for the digitalization of higher education in the wood industry.

Najpomembnejši del konceptualnega modela digitalizacije izobraževanja (slika 2) je določitev strateških smernic za izvedbo digitalizacije izobraževanja, med katerimi so najpomembnejši naslednji dolgoročni in kratkoročni cilji:

- Odločitev za digitalizacijo izobraževanja
- Zagotovitev formalnih pogojev za izvedbo in priznavanje digitalnega izobraževanja
- Prenova študijskih vsebin z vključitvijo digitalnih znanj in kompetenc
- Digitalizacija administracije in formalnih procesov, povezanih s študijem
- Zagotovitev tehnološke platforme za digitalizacijo izobraževalnega procesa
- Dvig digitalne pismenosti/kompetenc zaposlenih in študentov z uvajanjem novih didaktičnih pristopov ob uporabi sodobne informacijske tehnologije

V okviru procesov, kjer je posebna pozornost namenjena didaktični in vsebinski plati, so posebej pomembni naslednji ukrepi:

- Uvajanje sodobnih didaktičnih pristopov ob uporabi sodobne tehnologije, na primer: metoda učenja z igrami (angl. gamification) interaktivna gradiva, posnetki predavanj ipd.
- Aktivnejša uporaba IKT pri izvajanju pedagoškega procesa (npr. Interaktivna tabla, glasovalni sistemi, orodja v oblaku ...) (nivo digitalizacije je lahko določen tudi po SAMR modelu; povzeto po Puentedura, 2006 & Anderson, 2013)
- Prenova študijskih vsebin z vključitvijo digitalnih znanj in kompetenc

Organizacijski vidik zajema določanje vlog in odgovornosti ter zagotavljanje ustreznih kompetenc in se kaže predvsem v naslednjih ukrepih:

- Formalizacija e-izobraževanja oz. uporabe sodobnih IKT za izvedbo (posameznih delov) študijskega procesa
- Določitev odgovornosti in nalog pedagoškim delavcem ter zagotovitev tehnične podpore uporabnikom
- Stalno pedagoško usposabljanje in izobraževanje pedagoških delavcev za povečanje digitalnih pedagoških kompetenc, vključno z novimi didaktičnimi pristopi na področju uporabe sodobne IKT pri izvajanju pedagoškega procesa in digitalne varnosti
- Stalno usposabljanje študentov s področja digitalnih kompetenc

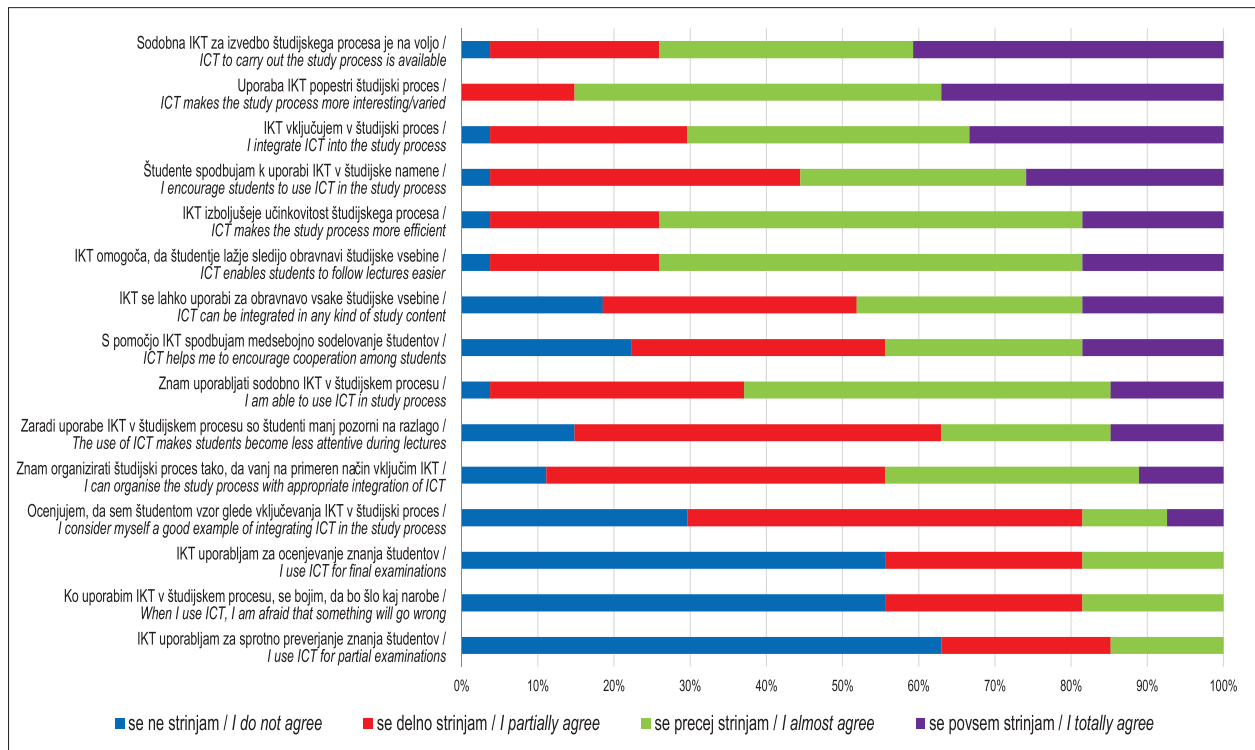
Tehnološki vidik zajema predvsem zagotovitev visoko zmogljivega (brezžičnega) računalniškega omrežja z zmogljivim varovanim diskovnim poljem, ustrezno programsko opremo, orodja za AR in VR ter orodja v oblaku. Pomemben del tehnologije je tudi platforma za e-učilnico, pri kateri je potrebno zagotoviti predvsem vključevanje novih funkcionalnosti, arhiviranje in upravljanje arhiviranih vsebin ter varnost.

Za vsak ukrep oz. aktivnost znotraj vseh področij (proces, tehnologija, organizacija) je potrebno določiti kazalnike za spremljanje doseganja ciljev, odgovorne osebe ter finančni in časovni okvir za izvedbo.

### 3.3 UPORABA IKT V ŠTUDIJSKEM PROCESU 3.3 USE OF ICT IN THE STUDY PROCESS

Na Oddelku za lesarstvo je na razpolago sodobna IKT za izvedbo študijskega procesa (slika 3). S tem se strinja 74 % pedagoških delavcev. 70 % jih IKT vključuje v izvedbo študijskega procesa in so pri uporabi dokaj suvereni, čeprav jih samo 44 % meni, da zna organizirati študijski proces tako, da na primeren način vključuje IKT, kar nakazuje na manjko kompetenc s tega področja. To dokazuje tudi področje ocenjevanja, kjer kar 37 % pedagoških delavcev uporablja IKT za sprotno ocenjevanje študentov in malo manj kot polovica za zaključno ocenjevanje znanja študentov. S tem je povezano tudi slabše spodbujanje študentov k uporabi IKT za študijske namene. Slaba polovica (49 %) pedagoških delavcev meni, da se lahko IKT uporabi za obravnavo vsake študijske vsebine. Zanimivo je, da kar 85 % pedagoških delavcev meni, da uporaba IKT popestri študijski proces, pri čemer jih 75 % meni, da zaradi uporabe IKT študentje lažje sledijo obravnavi študijske vsebine. Da uporaba IKT izboljšuje učinkovitost študijskega procesa, se strinja 75 % pedagoških delavcev. Tretjina pedagoških delavcev pa meni, da so študenti zaradi uporabe IKT manj pozorni na razlago. Ta dejstva in pa relativno majhen strah pred tem, da bo z uporabo IKT v študijskem procesu šlo kaj narobe, pa kažejo na splošno digitalno razgledanost in pismenost, ki pa ji manjka konkretizacija. Ključna pri uporabi IKT v pedagoškem procesu je tehnična podpora, tako pedagoškim delavcem kot študentom, sicer bo manj uporabe.

Do podobnih ugotovitev so prišli tudi v projektu »Digitalna UL« (Digitalna UL, 2018), kjer so ugotovili, da pedagoški delavci in študenti na Biotehniški fakulteti (BF) v primerjavi s stanjem na UL ne odstopajo po znanju in kompetencah za uporabo IKT v pedagoškem procesu. Odnos do uporabe IKT je mešan, pogosto se ustavi pri času, ki ga je v začetni fazi vpeljave IKT v izobraževalni proces potrebno investirati s strani posameznika. Tudi materialni viri na BF so zagotovljeni, obstoječa oprema pa je dobro uporabljana in z dobro tehnično podporo. Pri nameni uporabe IKT v izobraževalnem procesu se izkaže, da IKT v namene sprotnega preverjanja in ocenjevanja znanja pedagoški delavci na BF uporabljajo podpovprečno glede na stanje na celotni Univerzi v Ljubljani.



Slika 3. Uporaba in odnos do IKT pri uporabi v pedagoškem procesu.

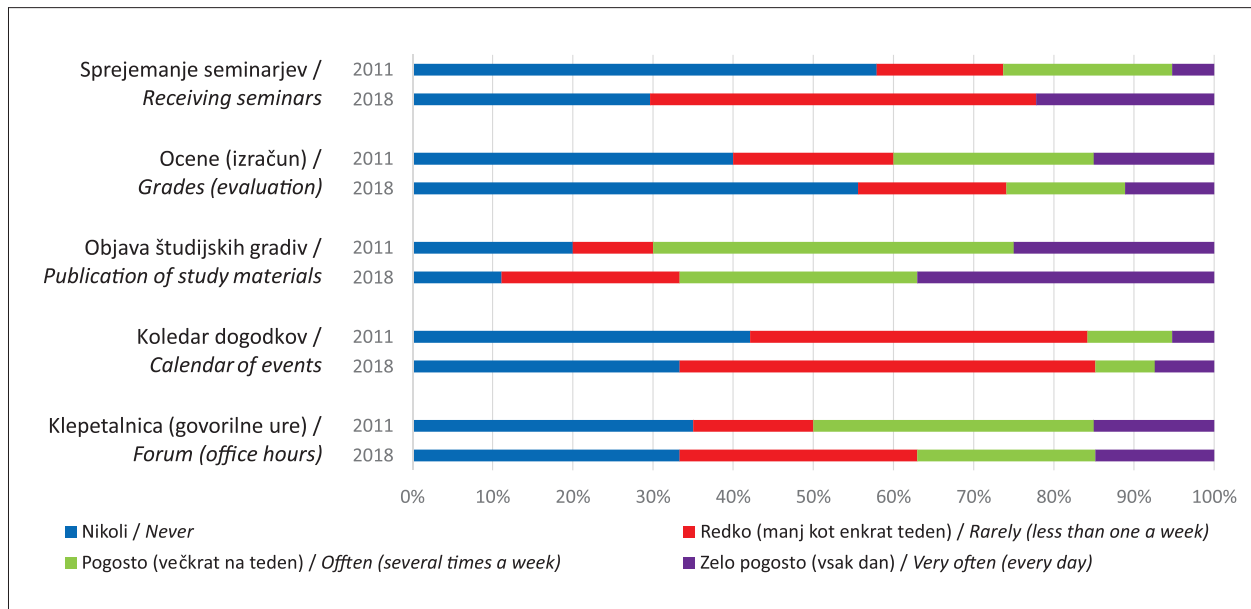
Figure 3. The use and attitude towards ICT in the pedagogical process.

Skoraj 90 % pedagoških delavcev pri izvajanju pedagoškega procesa zelo pogosto uporablja komunikacijska orodja, kot je e-pošta, medtem ko družbenih omrežij pedagoški delavci (skoraj) ne vključujejo v izobraževalni proces, in čeprav so tudi potencialna priložnost za prihodnost, jih večina ne uporablja. Večina študentov (nad 70 %) namreč meni, da spletne skupnosti vplivajo na sodelovanje, stike, pripadnost skupini, izmenjavo mnenj in na sprotno delo. Podobno lahko ugotovimo tudi za sodobna orodja v oblaku za skupinsko delo, shranjevanje datotek ipd., ki pa jih tako pedagoški delavci kot študentje uporabljajo razmeroma malo (manj kot 50 %). 74 % pedagoških delavcev pogosto uporablja prosojnice v digitalni obliki, vendar posnetke predavanj uporablja samo 19 % pedagoških delavcev, čeprav kar slabih 60 % študentov redno uporablja posnetke predavanj pri študiju. To je tudi največja razlika med ponujenim s strani pedagoških delavcev in navadami/pričakovani študentov. Specifična orodja kot so orodja za vizualizacijo, simulacijo in modeliranje so vezana na posamezna predmetna področja, zato jih redno uporablja le 30 % pedagoških delavcev.

### 3.4 E-UČILNICA (Moodle)

#### 3.4 E-CLASSROOM (Moodle)

Oddelek za lesarstvo že od leta 2010 kot enotno sodelovalno učno okolje za podporo klasičnemu študiju uporablja spletno platformo Moodle. Le-ta je s pričetkom študijskega leta 2018/19 postala tudi uradna platforma za študij na celotni fakulteti. Ugotovimo lahko, da se je zadovoljstvo tako pedagoških delavcev kot študentov z uporabo platforme Moodle povečalo v primerjavi z letom 2011. Posebej so zadovoljni s tehničnim delovanjem, enostavnostjo urejanja in grafično podobo e-učilnice. S primerjavo rezultatov anket glede uporabnosti orodij v e-učilnici smo ugotovili, da se je poznavanje orodij in s tem digitalna pismenost izrazito povečala, kar pa ne pomeni tudi, da se je povečala njihova uporaba. Glede na ponujene možnosti in potrebe študentov so največja odstopanja pri video posnetkih predavanj in interaktivnih gradivih (64 % študentov meni, da bi jim zelo koristilo pri študiju), pri kvizih za samopreverjanje znanja (74 % študentov meni, da bi jim pred kolokviji in predavanji to koristilo). Dobra polovica (55 %) študentov bi se preizkusilo tudi v opravljanju izpitov na daljavo.



Slika 4. Pogostost izrabe funkcionalnosti e-učilnice (primerjava med letoma 2011 in 2018).

Figure 4. Frequency of the use of various functions in the e-classroom (comparison between 2011 and 2018).

Ugotovimo, da se je precej povečala uporaba posameznih modulov e-učilnice, medtem ko je njihova struktura ostala podobna (slika 4). Pedagoški delavci e-učilnico še vedno največ uporabljajo za objavo študijskih gradiv (več kot 60 % anketirancev jo uporablja večkrat na teden) ter komuniciranje s študenti (forum, direktna sporočila) in objavo ocen (pri obeh 40 % večkrat na teden). To se povsem sklada z ugotovitvami iz analiz dnevniških zapisov vseh aktivnosti v e-učilnici. Zelo uporabno za pedagoške delavce kot tudi študente je koledar dogodkov, oddaja/sprejemanje seminarskih nalog ter v manjši meri tudi ocenjevanje. Z odzivnostjo predavateljev je zadovoljnih kar 80 % študentov, kar je v digitalni dobi, kjer je hitrost pretoka informacij zelo visoka, še posebej pomembno.

#### 4 DISKUSIJA IN ZAKLJUČEK

#### 4 DISCUSSION AND CONCLUSION

Novi tehnologije in koncepti, ki so del digitalne revolucije, bodo poleg strogo tehnoloških učinkov spodbudili razvoj poslovnih modelov podjetij tudi na področju lesarstva, kar bo v končni fazi vplivalo na razvoj panoge. Digitalna znanja in veščine bodo nujno potrebne na vseh nivojih poslovanja podjetij. To bo imelo velik vpliv tudi na področje izobraževanja v lesarstvu, še posebej visokošolsko izobraževanje, saj bo

trg dela v prihodnje potreboval strokovnjake lesarstva z visoko razvitimi digitalnimi kompetencami. Po drugi strani pa bodo potrebe po izpopolnjevanju že zaposlenih v podjetjih in prenos rezultatov raziskav v prakso postajale vedno večje in pomembnejše. V visokošolskem izobraževanju se pojavljajo številni trendi in novosti, trg e-izobraževanja pa nezadržno in hitro raste. Ključno je, da se v pedagoški proces neprestano uvaja nove informacijske tehnologije in na njih temelječe didaktične pristope, ter da se razvijajo pedagoške digitalne kompetence pedagoških delavcev.

Ker je digitalizacija izobraževalnega procesa kompleksen projekt, ga je treba izvesti na več ravneh. Po postavitvi ustreznih (strateških) smernic in ciljev je pri digitalizaciji izobraževalnega procesa posebna pozornost namenjena njegovi didaktični in vsebinski plati (Crina, 2015). Je pa digitalizacija izobraževalnega procesa tudi zelo pomemben organizacijski projekt, ki zajema določanje vlog in odgovornosti ter zagotavljanje ustreznih digitalnih kompetenc pedagoškemu delavcu in študentu. Za izvedbo pa je zelo pomembna tudi ustrezna infrastruktura z visoko zmogljivo IKT in programsko platformo za podporo izobraževalnemu procesu. Pri tem je pomembna predvsem (digitalna) varnost in tehnična podpora.

Na osnovi analize uporabe sodobnih pristopov in tehnologij, ki omogočajo izvedbo e-izobraževanja,



na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani lahko zaključimo, da sta stanje razpoložljive IKT in tehnična podpora zadovoljiva, tudi splošna digitalna pismenost tako študentov kot pedagoških delavcev je dobra. Največji razkorak med sodobnimi smernicami izvajanja študijskega procesa (glej: European Commission, 2017a) je pri uporabi orodij za sprotno preverjanje, videoposnetkov predavanj, družbenih omrežij in orodij v oblaku. S tem je povezana tudi uporaba in razvoj spletnih izobraževalnih vsebin (MOOC), ki so še (vedno) v fazi iniciacije. Neposredna implementacija IKT v izobraževalni proces pa se vidi iz uporabe spletne učne platforme (Moodle) pri njegovi izvedbi, katere uporaba se je v zadnjih sedmih letih precej povečala: povečala se je uporaba posameznih modulov, medtem ko je njihova struktura ostala podobna. Spletne učne platforme še vedno prevladuje kot okolje za objavo gradiv in direktno sporočanje, a se bo v nadaljnjem razvoju le-ta morala bistveno spremeniti. Ugotovimo lahko tudi večje zadovoljstvo uporabnikov te platforme, kar je nedvomno rezultat boljše digitalne pismenosti tako pedagoških delavcev kot študentov in stalna uporaba ob rednem internem izobraževanju.

Digitalizacija izobraževalnega procesa torej ni samo tehnološki izziv, ampak predvsem organizacijski projekt, ki mora poskrbeti za izbor in učinkovito vpeljavo IKT v izobraževalni proces ter uvedbo novih didaktičnih pristopov ob uporabi teh tehnologij z dvigom pedagoških digitalnih kompetenc izvajalcev/učiteljev. V prispevku predstavljeni model zagotavlja tudi naslednje (posredne) učinke: (1) aplikativno in takoj uporabljivo znanje (t.i. »learning by doing«), (2) boljša zaposljivost študentov z digitalnimi kompetencami, (3) vseživljenjsko učenje – kot del koncepta Industrija 4.0, (4) večja in lažja povezanost študijskega procesa z dogajanjem v praksi (npr. izobraževanje strokovnjakov v podjetjih in preko digitalnih oblik prenos rezultatov raziskav v prakso) in (5) internacionalizacija študija – vabljeni predavanja, virtualni študentje in/ali mešane oblike študija. S takšnim izobraževalnim procesom zagotovimo nadaljnji razvoj panoge tudi na področju digitalizacije, hkrati pa prispevamo k uspešnosti izobraževalnega procesa.

## 5 POVZETEK

### 5 SUMMARY

New various technologies and concepts which are part of digital revolution will, in addition to their strictly technological effects, also stimulate the development of the wood sector in terms of business models and other areas. Digital competences and skills are needed to take advantages of information and communication technologies (ICT) on the one hand, and to protect ourselves against certain dangers on the other hand. They will thus be urgently needed at all levels of the business in the near future. The lack of digital competences is one of the major problems faced by the current business environment, and this is also seen in wood science education, especially in higher education, as the demand for professionals with highly developed digital competences will increase in the near future. Moreover, the need to train existing employees and transfer the results of research into practice will also become more important. There are many trends and innovations in higher education, and the market for e-learning is growing rapidly. It is crucial that new information technologies and adequate didactic approaches are introduced into pedagogical process regularly, and the development of pedagogical digital competences is also very important.

The main goal of the current research was to explore the best practices and technologies for digitalization of the educational process and to develop a conceptual model for the digitalization of higher education, with an emphasis on higher education in wood sector in Slovenia. In order to analyse good practices we studied various European and national strategic policies and initiatives, as well as research from the field of introducing digital technologies into different levels of education. When designing the conceptual model of education we followed Harmon's (2014) example of the pyramidal concept of process management. The analysis of the situation with regard to the digitalization of education in wood science in Slovenia was based on questionnaires completed by pedagogical workers and students at the Department of Wood Science and Technology of the Biotechnical Faculty, University of Ljubljana and on analysis of all daily activities in an e-classroom (platform Moodle) in the academic year 2017/2018.

There are more and more programs, initiatives and standards that direct national and institutional policy makers. However, the state of education in the EU at all levels is not in accordance with expectations of the development of a digital society. We can conclude that this field has developed significantly in recent years, especially with regard to the increasing number of accessible learning resources, such as MOOC (Massive Open Online Courses), and the global e-learning market is experiencing rapid growth (more than 7% annually).

In the study we also examined the development of the digitalization of higher education in wood science in Slovenia. We found out that the status of available ICT and technical support as well as the general digital literacy of both students and educators are considered to be good, although there is still a lot to be improved. The biggest weakness in terms of the current guidelines for the implementation of such education (see: European Commission, 2017a) is in using on-line verification tools, video lectures, social networks and cloud tools. All this is related to the use and development of online educational content (MOOC), which remains in the initial phase. A good example of direct implementation and use of ICT in the pedagogical process is Moodle – an on-line collaborative environment. However, while the use of individual modules in this has increased significantly in recent years, it still has not reached the expected goals.

Since the digitalization of the educational process is a comprehensive project, it needs to be carried out on several levels. At first appropriate (strategic) guidelines and goals should be set. After that, special attention should be paid to the didactic, content, technological and organizational aspects. The digitalization of higher education is also a very important organizational project, which involves the definition of roles and responsibilities and fostering the appropriate digital competences among pedagogical workers and students. For the implementation of such efforts, it is very important to have the relevant infrastructure with high-performance ICT and an appropriate software platform to support the educational process, with (digital) security and technical support being vital.

Digitalization of the educational process is therefore not only a technological challenge but also a huge organizational one, which should work to en-

sure the selection and effective introduction of ICT in the educational process, as well as introduction of new didactic approaches using these technologies. Various pedagogical digital competences are also crucial here. The model presented in this study has the following (indirect) effects: (1) enhancing applicable and useful knowledge (i.e., through learning by doing), (2) increasing the employability of students with digital competences, (3) fostering lifelong learning – as part of the concept of Industry 4.0, (4) making better and easier connections between the study process and developments in practice (e.g. training of experts in companies, and using digital forms to transfer the results of research into practice) and (5) supporting further internationalization of study, via invited lectures, virtual students and mixed forms of study. With such an educational process the further development of the wood sector in Slovenia will be strengthened in terms of digitalization, and this will also contribute to a more successful educational process.

## ZAHVALA

### ACKNOWLEDGEMENTS

Raziskava je bila opravljena v okviru programske skupine Les in lignocelulozni kompoziti (P4-0015), ki jo financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS).

## VIRI

### REFERENCES

- Anderson, D. R., Sweeney, D. J., & Williams, T. A. (2015). *Essentials of Modern Business Statistics with Microsoft Excel*. 6<sup>th</sup> Edition. Cengage Learning.
- Anderson, M. (2013). *Perfect ICT every lesson*. Crown House Publishing.
- Bates, A. W. (2015). *Teaching in a Digital Age - Guidelines for designing teaching and learning*. Tony Bates Associates Ltd, VANCOUVER BC.
- Couture, W. (2017). Top 10 Online Learning Platforms to Watch in 2018. URL: <https://www.disruptordaily.com/top-10-online-learning-platforms-watch-2018/> [10.7.2018].
- Crina, D., et al. (2015). *Quality in Norwegian Higher Education: A review of research on aspects affecting student learning*. URL: <https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2360236/NIFUreport2015-24.pdf?sequence=4&isAllowed=y> [10.10.2018].

- Digitalna UL (2018). Uporaba IKT v študijskem procesu. Interno poročilo projekta »Digitalna UL – z inovativno rabo IKT do odličnosti«. Ljubljana, Univerza v Ljubljani.
- Ferrari, A. (2012). *Digital Competence in Practice: An Analysis of Frameworks*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. URL: [http://jiscdesignstudio.pbworks.com/w/file/fetch/55823162/FinalCSReport\\_PDFPARAWEB.pdf](http://jiscdesignstudio.pbworks.com/w/file/fetch/55823162/FinalCSReport_PDFPARAWEB.pdf) [2.10.2018].
- From, J. (2017). Pedagogical Digital Competence—Between Values, Knowledge and Skills. *Higher Education Studies*; Vol. 7, No. 2, p. 43-50. DOI: 10.5539/hes.v7n2p43.
- Harmon, P. (2014). The scope and evolution of business process management. In: vom Brocke, J., Rosemann, M. (eds) *Handbook on business process management*, vol. 1, 2<sup>nd</sup> ed. Springer, Heidelberg, pp 37–80.
- Hill, P. (2017). State of Higher Ed LMS Market for US and Canada: Fall 2017 Edition. URL: <https://mfeldstein.com/state-higher-ed-lms-market-us-canada-fall-2017-edition/> [4.10.2018].
- Humar, M., et al. (2012). Izhodišča za prestrukturiranje slovenske lesnopredelovalne industrije. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
- Keidanren (2016). Toward realization of the new economy and society. URL: [http://www.keidanren.or.jp/en/policy/2016/029\\_outline.pdf](http://www.keidanren.or.jp/en/policy/2016/029_outline.pdf) [12.7.2018].
- Košmelj, K. (2007). *Uporabna statistika*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta.
- Kropivšek, J., Oblak, L., Jošt, M., Zupančič, A., Leban, I., Štarkl, D., & Mokorel, M. (2013). Model kompetenc za lesarstvo. Ljubljana: Oddelek za lesarstvo, Center RS za poklicno izobraževanje, Kompetenčni center za razvoj kadrov v lesarstvu, 91 pp.
- Kropivšek, J. & Zupančič, A. (2016). Development of Competencies in the Slovenian Wood-Industry. *Dynamic Relationships Management Journal*, Vol. 5, No. 1, p. 3-20. DOI: 10.17708/DRMJ.2016.v05n01a01
- Krumsvik, R. J. (2014). Teacher educators' digital competence, *Scandinavian Journal of Educational Research*, 58:3, 269-280. DOI: 10.1080/00313831.2012.726273.
- Krumsvik, R. J., Jones L. Ø., Øfstegaard, M., & Eikeland, O. J. (2016). Upper Secondary School Teachers' Digital Competence: Analysed by Demographic, Personal and Professional Characteristics. *Nordic Journal of Digital Literacy* (03) 11, p. 143-164. DOI: 10.18261/issn.1891-943x-2016-03-02.
- Lakkala, M., Iilomäki, L., & Kantosalo, A. (2011). Which areas of digital competence are important for a teacher? *European schoolnet*. URL: [http://linked.eun.org/c/document\\_library/get\\_file?p\\_l\\_id=22507&folderId=23774&name=DLFE-743.pdf](http://linked.eun.org/c/document_library/get_file?p_l_id=22507&folderId=23774&name=DLFE-743.pdf)
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*. 6. 239-242. DOI: 10.1007/s12599-014-0334-4
- Martinez, J. (2018). The Best Online Learning Platforms for Business in 2018. URL: <http://uk.pcmag.com/cloud-services/82258/guide/the-best-online-learning-platforms-for-business-in-2018> [14.7.2018].
- Ottestad, G., Kelentrić, M., & Guðmundsdóttir, G. (2014). Professional digital competence in teacher education. *Nordic Journal of Digital Literacy*. 9. 243-249.
- Puentedura, R. R. (2006). Transformation, technology, and education in the state of Maine. URL: <http://hippasus.com/resources/tte/> [5.7.2018].
- Richardson, C. (2018). The Next Revolution In Global eLearning. URL: <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2018/07/25/the-next-revolution-in-global-elearning/#65120c437c25> [12.10.2018].
- Shah, D. (2018). A products at every price: A review of MOOC stats and trends in 2017. URL: <https://www.class-central.com/report/moocs-stats-and-trends-2017/> [30.6.2018].
- Xu, L. D., Xu, E., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research* 56(8): pp .1-22.
- Zupan, G. (2018). Digitalni indeks slovenskih podjetij. *Uporabna Informatika*, (4), 11. URL: <https://uporabna-informatika.si/index.php/ui/article/view/5> [5.10.2018].
- \*\*\*: Capterra (2018). LMS Software. URL: <https://www.capterra.com/learning-management-system-software/> [2.10.2018].
- \*\*\*: Commission of the European Communities (2009): Priprave na prihodnost: razvoj skupne strategije za ključne spodbujevalne tehnologije v EU. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52009DC0512> [7.11.2018].
- \*\*\*: European Commission (2014). Opening up education. URL: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/cd97428e-ab60-4e5f-b9c2-68232274522e> [20.9.2018].
- \*\*\*: European Commission (2015). Enotni digitalni trg: Manj ovir za spletne priložnosti. URL: [https://ec.europa.eu/commission/priorities/digital-single-market\\_sl](https://ec.europa.eu/commission/priorities/digital-single-market_sl) [20.9.2018].
- \*\*\*: European Commission (2017a). Digital education plan. URL: <https://ec.europa.eu/education/sites/education/files/factsheet-digital-education-action-plan.pdf> [20.9.2018].
- \*\*\*: European Commission (2017b). Smart specialization platform. URL: <http://s3platform.jrc.ec.europa.eu/> [15.9.2018].
- \*\*\*: European Commission (2018a). Council recommendation on Key Competences for Lifelong Learning. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1519379010360&uri=CELEX%3A52018DC0024> [15.9.2018].
- \*\*\*: European Commission (2018b). Digital competence framework for educators. URL: <https://ec.europa.eu/jrc/en/digcompedu> [24.9.2018].
- \*\*\*: European Commission (2018c). Human Capital, Digital inclusion and skills: Digital Economy and Society Index Report 2018. URL: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/human-capital> [24.9.2018].
- \*\*\*: Republic of Slovenia, Government office for development and European policy (2018). Slovenian smart specialisation strategy – S4. URL: [http://www.svrk.gov.si/en/areas\\_of\\_work/slovenian\\_smart\\_specialisation\\_strategy\\_s4/](http://www.svrk.gov.si/en/areas_of_work/slovenian_smart_specialisation_strategy_s4/) [10.6.2018].

- \*\*\*: Reuters (2017). Global E-Learning Market 2017 to Boom \$275.10 Billion Value by 2022 at a CAGR of 7.5%.  
URL: <https://www.reuters.com/brandfeatures/venture-capital/article?id=11353> [17.9.2018].
- \*\*\*: UNESCO (2008). ICT Competency standards for teachers.  
URL: <http://www.unesco.org/new/en/communication-and-information/resources/publications-and-communication-materials/publications/full-list/ict-competency-standards-for-teachers-policy-framework/> [10.6.2018].



## Les/Wood: Intervju prof. dr. Miha Humar

Katarina Čufar, glavna urednica

**Dr. Miha Humar, redni profesor na Oddelku za lesarstvo, je to jesen zaključil 2-letni mandat dekana Biotehniške fakultete. Ob tej priložnosti bi ga radi kratko predstavili in mu zastavili nekaj vprašanj.**



Foto: Željko Stevančić

Miha Humar sodi v mlajšo generacijo strokovnjakov, ki delujejo na področju lesarstva. Po zaključenem študiju lesarstva se je kot mladi raziskovalec zaposlil na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani, kjer je zaključil doktorski študij kot najboljši doktorand v letniku in zato prejel Jesenkovo nagrado Biotehniške fakultete. Pedagoško deluje na Oddelku za lesarstvo, kjer študentom odkriva vsebine s področja lesnih škodljivcev in zaščite lesa. Študentje so ga trikrat izbrali za najboljšega pedagoškega delavca na oddelku. V letih 2010–2018 je opravljal vodstvene funkcije na Oddelku za lesarstvo in Biotehniški fakulteti. Trenutno je kot prodekan Biotehniške fakultete odgovoren za kakovost in razvoj ene največjih in najodličnejših

slovenskih fakultet. Pod njegovim mentorstvom je diplomiralo več kot 120 študentov, dva pa sta doktorirala. Miha Humar je aktiven tudi na mednarodnem področju, kot član znanstvenih odborov konferenc, član mednarodnih uredniških odborov revij. Skupaj z dr. Hojko Kraigher že devet let soorganizira znanstveno srečanje Gozd in les. Poleg pedagoškega dela je aktiven tudi na raziskovalnem področju. Koordiniral je več ARRS aplikativnih in CRP projektov, je pa tudi vodja raziskovalnega programa na Oddelku za lesarstvo. Svoja znanstvena spoznanja je objavil v več kot 140 znanstvenih člankih, od tega 100 v revijah s faktorjem vpliva. Poleg tega je tudi soavtor dveh mednarodnih patentov. Njegovo trenutno raziskovalno delo poteka na področju vrednotenja življenjske dobe lesa ter razvoja klasičnih biocidnih in nebiocidnih rešitev za zaščito lesa. V te namene je postavil prvo celovito terensko polje, kjer potekajo preizkusi na prostem. Pri svojem delu tesno sodeluje z industrijo, ki financira znaten del njegovega raziskovalnega dela. Za to je skupaj s sodelavci leta 2016 prejel tudi Puhovo priznanje za pomembne dosežke na področju lesarstva.

V študijskih letih 2016/17 in 2017/18 je bil dekan Biotehniške fakultete. Ob nastopu mandata je bil doslej najmlajši dekan fakultete, mandat je nastopil pri 41. letih.

**V študijskih letih 2016/17 in 2017/18 ste bili dekan Biotehniške fakultete, ki doslej ni imela veliko dekanov z Oddelka za lesarstvo. Ali je to odvisno od pravil izbora dekana, ki so se v času vašega mandata spremenila?**

Eden od razlogov, da je dekanov z lesarstva relativno malo, je gotovo dejstvo, da smo v primerjavi z ostalimi oddelki Biotehniške fakultete relativno mlad oddelek. Prvi dekan z našega oddelka je bil prof. dr. Kovač, sledil mu je prof. dr. Jože Resnik, sam pa sem tretji dekan, ki je prišel z Oddelka za lesarstvo. Volitve vodstev in pravilniki za izvolitev se na Univerzi in njenih članicah s časom spreminjajo. V preteklosti so dekana volili predvsem senatorji. Tik pred nastopom mojega mandata je bila sprejeta No-

vela Zakona o visokem šolstvu in kasneje še Statut Univerze v Ljubljani. Ti dokumenti predpisujejo, da morajo pri izboru vodstva aktivno sodelovati vsi deležniki na Univerzi oziroma fakulteti, študentje, raziskovalci, asistenti, administrativno osebje, profesorji ... Na naši fakulteti je skoraj 600 zaposlenih in 2500 študentov, zato si nismo predstavljali volitev z enim samim, delegiranim kandidatom za dekana. To preveč spominja na avtoritativne čase, ki so že minili. Sam ne vidim smisla na volitvah, kjer je vedno na voljo le en kandidat. Zato smo v soglasju z vsemi prodekani na Biotehniški fakulteti sklenili, da odpremo prostor. Kot se je videlo na zadnjih volitvah, kandidatov, ki bi želeli sprejeti odgovornosti dekana, ni ravno veliko. Ne vem, kaj je vzrok temu.

Morda na oddelkih premalo delamo na kadrovske politiki, na razvoju kadrov in prevzemanju različnih odgovornosti. Nova ureditev omogoča, da bomo četrtega dekana s področja lesarstva mogoče dobili celo prej kot v 14 letih, če bomo le vzgojili in ponudili pravega kandidata.

**Ob nastopu mandata ste bili najmlajši dekan Biotehniške fakultete, lahko malo pokomentirate statistike o starosti dekanov?**

Zelo natančne statistike ne obstajajo. Upoštevati moramo, da je bil proces študija v preteklosti drugačen kot sedaj. Še pred 30 leti je bil doktorat pogosto življenjsko delo, na katerem so delali 10 in več let, zato so kandidati vodilne funkcije prevzemali pri višji starosti. Danes je doktorski študij mnogo hitrejši, vpet v mednarodno okolje. Glede na znane podatke sem bil doslej res najmlajši dekan naše fakultete.

**Biotehniška fakulteta sodi med večje fakultete na Univerzi v Ljubljani. Kakšen delež predstavlja in kakšen je njen pomen? Ali velikost ocenjujete kot prednost ali oviro?**

Ne glede na kriterij, ki ga izberemo, sodi Biotehniška fakulteta med tri največje članice. Poleg velikosti sodi med najbolj raznolike članice, saj pokrivamo vsebine s področja umetnosti (Krajska arhitektura), naravoslovja (Biologija, Mikrobiolo-

gija), ved o življenju (Agronomija, Zootehnika, Gozdarstvo), materialih (Lesarstvo) in tehnologijah (Lesarstvo, Živilska tehnologija, Biotehnologija).

Velikost predstavlja oviro, ker smo zaradi tega včasih neokretni, vsako večjo odločitev je treba uskladiti s sedmimi oddelki in dvema študijema. To nas pogosto ovira pri odpiranju novih vsebin. Trudimo se, da parcialni interesi ne prevladajo nad skupnim dobrim. Po drugi strani smo zaradi velikosti bolj odporni na zunanje vplive. Zaradi velikosti imamo lahko bolj usposobljen administrativni aparat, kar je ključnega pomena pri pridobivanju in koordinaciji projektov. V devetdesetih letih so številne večje članice UL razpadle na manjše članice, kar se ni vedno najbolje obneslo. Manjše fakultete se pogosto spopadajo s stiskami, ki so nam še nepoznane.

**Kaj so bili glavni izzivi in dosežki pri vodenju Biotehniške fakultete v zadnjih dveh letih?**

Ob pričetku mandata sta bili dve ključni prioriteti že postavljeni, in sicer sedemdesetletnica naše fakultete in sprejem Pravil Biotehniške fakultete. Obe dejavnosti sta vzeli veliko časa in vesel sem, da sta lepo stekli. Poleg tega smo se zelo trudili izboljšati podobo naše fakultete v javnosti. Močno smo spodbujali promocijo družbeno relevantnih dogodkov in znanstvenih dosežkov. V mojem mandatu dekana smo tako pridobili 2 mio € na razpisih v okviru



Foto: Željko Stevančić

Strategije pametne specializacije, kjer se je naša fakulteta še posebej izkazala. Poleg tega smo pridobili kar nekaj raziskovalne opreme, posodobili IT infrastrukturo in uvedli e-učilnico na celotni fakulteti.

**Kaj so bili glavni izzivi za fakulteto in v kakšni meri je reševanje izzivov odvisno od fakultete ali od drugih »zunanjih« dejavnikov?**

Eden največjih izzivov naše fakultete so kljub gospodarski rasti vedno bolj zaostrene finančne razmere. Sredstva, ki jih trenutno prejmemo za izvajanje pedagoškega dela, so še vedno nižja od zneska, ki smo ga dobili pred letom 2015. Pri tem je treba upoštevati, da v tem času plače ves čas rastejo, tako zaradi napredovanj kot usklajevanj plač z življenjskimi stroški. Zato delež sredstev za plače že dlje časa močno narašča in tako nam zmanjkuje sredstev za tekoče obratovanje, kaj šele za rast in razvoj. Tako že dlje časa z raziskovalnim delom sofinanciramo pedagoško delo. Poleg tega je večina raziskovalne opreme na BF že amortizirane, in tudi pogoji za delo v nekaterih laboratorijih so daleč od solidnih. Raziskovalno delo je integrativen del pedagoškega procesa. Sodobno opremljeni laboratoriji so nuja, tako za izobraževanje kot tudi raziskovalno delo. Zato nujno potrebujemo svež denar za razvojni preboj, sicer bomo ostali na EU periferiji. Brez raziskovalnega dela univerzitetni učitelji hitro postanemo srednješolski učitelji, ki zgolj posredujejo znanje in ga ne ustvarjajo. Zato je nujno, da univerzitetni profesorji pridobivajo nove projekte in si s tem omogočijo pogoje za napredek.

**Kakšen je po vašem mnenju širši družbeni pomen Biotehniške fakultete (neposredni in posredni učinki na širšo družbo)?**

Biotehniška fakulteta je leta 2017 praznovala 70 let. Menim, da je to kar častitljiva starost. Koliko podjetij, ki so bila ustanovljena v viharnih časih po drugi svetovni vojni, še živi? Naša fakulteta pa skozi celotno sedemdesetletno obdobje raste in se krepi. Težko sklepam, kakšen je bil položaj fakultete pred 40, 50, 60 leti. Vem pa, da je danes naša fakulteta ugledna in vplivna inštitucija, kivpliva tako na delovanje Univerze kot tudi Slovenije, aktivna pa je tudi v mednarodnem okolju. Ne glede na kriterij, ki ga izberemo, sodi naša fakulteta med tri najbolj uspešne članice naše Univerze. Naši sodelavci objavljajo članke v vrhunskih revijah, sodelujejo v uglednih mednarodnih konzorcijih in izobražujejo najboljše študente.



Eden od večjih izzivov v tem obdobju je implementacija Strateških razvojno inovacijskih partnerstev, kjer smo v tesni navezi z gospodarstvom in drugimi raziskovalnimi organizacijami definirali razvojne prioritete slovenske družbe. Tudi od naših odločitev bo odvisno, kakšna bo Slovenija leta 2020, 2030 ... Naša fakulteta je vpeta v kar štiri strateška partnerstva; Pametne zgradbe in dom z lesno verigo, Krožno gospodarstvo, Trajnostna pridelava hrane in Zdravje-Medicina. Že nabor teh partnerstev jasno kaže, da s svojim raziskovalnim in pedagoškim delom pokrivamo vse uporabne vede o življenju. Pri tem smo usmerjeni v moderne tehnologije, aktivno vplivamo na družbene dogodke. Na razvoj Slovenije vplivamo tudi z vzgojo in izobraževanjem študentov in zagotavljanjem kadra za kmetijstvo, gospodarstvo in javno upravo. Tudi v parlamentu sedi kar nekaj naših alumnov, v mandatu 2014-2018 so bili med njimi kar trije lesarji. Na BF s svojim delom pedagoško, raziskovalno in razvojno skrbimo za dve proizvodni verigi; gozdno-lesno in agroživilsko verigo. S tem se dotikamo vseh prebivalcev in vsebinsko pokrivamo celoten teritorij Slovenije od gozdov, polj, naravne in urbane krajine do zavarovanih habitatov v narodnih parkih in območjih nature 2000.

**Kakšen je položaj lesarstva znotraj Biotehniške fakultete?**

Oddelek za lesarstvo ima ugled oddelka, ki večino težav rešuje sam in jih ne prelaga na druga pleča. To se kaže v prevzemanju odgovornih nalog in vodenju komisij; kadrovske in habilitacijske komisije (prof. dr. Petrič), študijske komisije (prof. dr. Čufar), doktorske komisije (prof. dr. Oven), IT komisije (doc. dr. Kropivšek) ... V zadnjem obdobju smo pridobili precej ugleda, največ zaradi dobrega raziskovalnega dela, ki je v času, odkar sem zaposlen na



Oddelku, močno napredovalo. Večina raziskav pred 20 leti je temeljila na tehtanju, danes pa razpolagamo s prvovrstno opremo, o kateri smo, ko sem prišel na Oddelek, samo sanjali. Pred 20 leti smo takrat mladi raziskovalci na Oddelku »tekmovali«, komu bo uspelo prvemu objaviti članek v reviji s faktorjem vpliva (IF) nad 1, 2 ... Danes to postaja rutina. Pred nami je novo razvojno vprašanje, kako dvigniti kvaliteto objav na višji nivo, kako objaviti v vodilnih revijah s področja materialov, s faktorjem vpliva nad 10 ... Tega ne more storiti posameznik ali ena sama skupina, temveč moramo vsi trdo delati brez fige v žepu, sodelovati in iskati sinergije.

### **Kako kot dekan ocenjujete položaj lesarstva v Sloveniji in v mednarodnem merilu?**

Les je ena od ključnih surovin v Sloveniji. Poleg tega imamo v Sloveniji dolgo tradicijo in številne izkušnje v predelavi in obdelavi lesa. Lesarska industrija se po težkem obdobju tranzicije postavlja na noge. Na sejmu Ambient vsako leto vidim kakšno novo lesarsko podjetje z vsečnimi izdelki. K temu je zagotovo prispeval tudi naš oddelek z izobraževanjem in razvojnim delom za industrijo. Ne smemo pa pozabiti, da je k temu pripomoglo tesno sodelovanje med ključnimi deležniki v panogi; Gospodarsko zbornico Slovenije, Združenjem za lesno in

pohištveno industrijo, Zvezo lesarjev Slovenije, Lesarskim grozdom in seveda našo fakulteto. To se odraža tudi v strateškem dokumentu, SRIP Pametne zgradbe in dom z lesno verigo, kjer so opredeljene ključne razvojne prioritete za Slovenijo. Z dobrim sodelovanjem nam bi uspelo postaviti slovensko lesarstvo na višji nivo.

### **Na Biotehniški fakulteti ste trenutno prodekan. Kakšne so vaše sedanje naloge in glavni načrti za prihodnje?**

Na srečo mi ni v službi nikoli dolgčas. V dekanatskem kolegiju delujemo kot ekipa in si ključne prioritete postavljamo skupaj. Naš cilj je postaviti Biotehniško fakulteto med vodilne fakultete s področja biotehnike, ved o življenju ..., v EU in svetu. Študentom želimo ponuditi relevantne, aktualne programe, ki jim bodo omogočili dobro zaposlitev na področju, ki so si ga izbrali. Zato razmišljamo o novih akreditacijah, ki nam bodo postavile ogledalo. Vse to pa ne bo mogoče brez spremembe v razmišljanju in organizaciji. Želimo si vzpostaviti vrhunске pogoje za delo in študij, hkrati s tem pa prostor, kjer bodo sodelavci z veseljem opravljali svoje delo.

**Hvala za odgovore in veliko uspeha pri delu še naprej!** ●

## **Prof. dr. Marko Petrič - prejemnik Zlate plakete Univerze v Ljubljani**

Milan Šernek

Na slavnostni seji Senata Univerze v Ljubljani v tednu univerze v decembru 2018, je prof. dr. Marko Petrič za izjemne zasluge pri razvijanju znanstvenega in pedagoškega ustvarjanja ter za krepitev ugleda univerze prejel zlato plaketo Univerze v Ljubljani. Redni



profesor dr. Marko Petrič je zaposlen na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete. Je mednarodno priznan znanstvenik, ki je kot kemik po osnovni izobrazbi izjemno obogatil in razširil znanstveno področje lesarstva z vidika površinskih premazov in površinske obdelave lesnih izdelkov ter uporabe različnih materialov v lesarstvu. Laboratorij za površinsko obdelavo na Oddelku za lesarstvo je opremil s sodobno opremo in je s testirnim ter raziskovalnim delom močno vpet v mednarodni prostor. Prof. Petrič je avtor številnih odmevnih znanstvenih objav. Organiziral je več znanstvenih konferenc in sodeloval pri številnih raziskovalnih projektih. Na Univerzo v Ljubljani je pripeljal tudi prvega MSCA Marie Curie študenta. Opravljal je več vodilnih funkcij, še posebej velja izpostaviti, da je bil dva mandata predsednik Habilitacijske komisije Univerze v Ljubljani. ●



## Franc Pohleven, prvi zaslužni profesor Univerze v Ljubljani s področja lesarstva

Miha Humar

V tednu univerze v decembru 2017 je rektor prof. dr. Igor Papič upokojenega kolego prof. dr. Franca Pohlevna razglasil za zaslužnega profesorja Univerze v Ljubljani. To čast je prejel kot prvi profesor s področja lesarstva. Zato je prav, da nekoliko orišemo njegovo življenjsko pot. Prof. dr. Franc Pohleven se je rodil v vasi Strug pri Makolah. Po maturi v Mariboru se je vpisal na študij biologije na Biotehniški fakulteti v Ljubljani, kjer je leta 1975 diplomiral. Za posebno raziskovalno nalogo s podobno tematiko kot pri diplomskem delu je prejel univerzitetno Prešernovo nagrado. Prof. Pohleven je tako že na začetku poklicne poti nakazal svojo prihodnost: zapisal se je raziskovanju gliv, ki so bile tema njegove diplomske naloge. Z raziskavami se intenzivno ukvarja še danes. Univerzitetna Prešernova nagrada pa je nakazala, da se bo razvil v enega najuglednejših znanstvenikov in akademskih pedagogov na področju. Z glivami sta bili povezani tudi njegova magistrska naloga in doktorska disertacija. Prof. dr. Franc Pohleven se je leta 1976 zaposlil na Inštitutu za biologijo Univerze v Ljubljani.

Po končanem stažiranju je bil leta 1978 na Inštitutu za biologijo izvoljen v naziv raziskovalni asistent. S področja mikorize je leta 1981 magistriral, leta 1988 pa doktoriral pod mentorstvom prof. dr. Nade Gogala. Leta 1981 je začel z delom na Biotehniški fakulteti, Oddelku za biologijo, kjer je bil v novembru leta 1988 izvoljen v docenta s področja rastlinske fiziologije. Od leta 1989 do upokojitve 2016 pa je prof. Pohleven deloval na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete, na Katedri za patologijo in zaščito lesa, kjer je bil predstojnik. V letu 1994 je bil izvoljen v naziv izrednega profesorja za področje Patologije in zaščite lesa, leta 2000 pa v naziv rednega profesorja.

Prof. Pohleven je bil in je v prvi vrsti zavzet pedagoški delavec, sprva na področju rastlinske fiziologije, nato še na področjih lesnih škodljivcev, konzervatorstva, gojenja gob in biotehnologije višjih gliv, na različnih oddelkih matične fakultete kot tudi na drugih fakultetah. Intenzivno delo s študenti je vidno v obsežnem seznamu diplomskih, magistrskih in doktorskih del. Bil je mentor preko 120 diploman-



Foto: Foto studio NORA

tom različnih študijev, trem magistratom in enajstim doktoratom, na različnih študijih. Za uspešno pedagoško in raziskovalno delo je prejel tudi Jesenkovo nagrado Biotehniške fakultete.

Prof. dr. Franc Pohleven je samostojno ali v soavtorstvu objavil 111 izvernih znanstvenih člankov, od tega 64 v revijah s faktorjem vpliva. Skupaj ima v podatkovni bazi COBISS preko 1000 zapisov. V zgodnejšem obdobju se je posvetil proučevanju mikoriznih gliv. Po prihodu na Oddelek za lesarstvo se je najprej skupaj s sodelavci lotil proučevanja zaščite lesa s sodobnimi, predvsem bakrovimi pripravki. V letih, ki jih je preživel na Oddelku za lesarstvo, je Katedro za patologijo in zaščito lesa postavil na svetovni zemljevid raziskovalnih skupin na področju zaščite in patologije lesa. Laboratorije je opremil z najmodernejšo opremo. Z interdisciplinarno zasnovanimi raziskavami je združil spoznanja številnih sorodnih področij in jih na povsem nov način uporabil tudi v lesarstvu. Njegova velika prednost je pripravljenost na sodelovanje tako z domačimi, kot tudi tujimi raziskovalnimi skupinami.

V prvem obdobju se je posvetil predvsem bakrovim zaščitnim pripravkom za les. S pomočjo elektronske paramagnetne resonance in številnih drugih analiznih tehnik je skupaj s sodelavci kot eden prvih osvetlil interakcije bakrovih amoniakalnih spojin z lesom oziroma s komponentami lesa. Dobro poznavanje lesnih gliv in lesa, zaščitnega z bakrovimi pripravki, mu je omogočilo, da je osvetlil mehanizem tolerance nekaterih lesnih gliv na z bakrovimi učinkovinami prepojen les. Ta spoznanja je nato uporabil predvsem za razvoj učinkovitejših bakrovih pripravkov za les ter za razvoj biotehnološkega postopka razstrupljanja odsluženega zaščitnega lesa. Na področju zaščite lesa je bil prof. dr. Franc Pohleven zelo aktiven tudi pri razvoju novega postopka termične modifikacije lesa v vakuumu. Skupaj s sodelavci je razvil in komercializiral inovativen postopek termične modifikacije lesa. Svoje bogato znanje s področja biologije lesnih gliv in insektov ter dobrega poznavanja lesa in lesenih umetniških predmetov je uspešno združil v tvornem sodelovanju na področju konzervatorstva in restavratorstva. V Sloveniji je prof. Pohleven uspešno uveljavil anoksi metodo za uničevanje insektov v lesenih izdelkih. Sam pa je skupaj s sodelavci metodo še nadgradil in jo uporabil še za zatiranje lesnih gliv. Pri razvoju te metode je zelo uspešno sodeloval z Metropolitanskim muzejem v New Yorku.

Prof. dr. Franc Pohleven opravlja tudi obsežno uredniško delo. Od leta 1997 je bil član uredniškega odbora revije Les, od leta 2007 do 2009 je bil njen urednik. Bil je član številnih uredniških odborov, med drugim tudi v dveh revijah s faktorjem vpliva, International biodeterioration & biodegradation in Wood research. Dr. Pohleven je organiziral številna mednarodna znanstvena srečanja in konference, kot na primer: 35. letno srečanje International Research Group for Wood Protection (IRG/WP) (2004), 3. svetovno konferenco International Medicinal Mushroom Conference (IMMC) (2007), srečanje Evropskih Gozdno lesnih tehnoloških platform (2008) in Evropsko konferenco o modifikaciji lesa (The Sixth European Conference on Wood Modification) (2012). Vsa srečanja so bila odlično organizirana in so požela številne pohvale udeležencev.

V zadnjem obdobju je prof. dr. Franc Pohleven v številnih javnih medijih objavil serijo poljudnih prispevkov o rabi lesa. Od leta 2009 s sodelavci po Sloveniji organizira prireditve ter razstave Čar lesa, ki so zelo pripomogle k popularizaciji lesa v širši javnosti. S svojo aktivnostjo širši javnosti predstavlja pomen rabe lesa za blaženje klimatskih sprememb. Za delo s tega področja mu je Slovenska znanstvena fundacija leta 2008 podelila priznanje Prometej znanosti za odličnost v komuniciranju znanosti.

Na kratko je o prof. Pohlevnu nemogoče povedati vse, kar bi bilo nujno za celovito sliko o njegovih številnih aktivnostih. Zato naj zaključimo z nekaj podatki o vodstvenih in organizacijskih dejavnostih prof. dr. Franca Pohlevna: dve leti je bil prodekan za področje lesarstva, dve leti prodekan Biotehniške fakultete, bil je med ustanovitelji Tehnološkega inštituta za lesarstvo, deloval je na Službi vlade za razvoj, je član 4. razvojne skupine za okolje in gradbeništvo. Vrsto let je bil vodja Slovenske gozdno-lesne tehnološke platforme in ožji član evropske Forest-Based Sector Technology Platform. Je pobudnik in vodja Sveta za les. Na ARRS je bil eno mandatno obdobje član Znanstveno-raziskovalnega sveta za biotehniko, na ministrstvu za zdravje pa je bil član in podpredsednik Komisije za biocide. Na Ministrstvu za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano je predsednik Sveta za gozdno-lesno verigo.

Kot zaslužni profesor je ostal vsestransko povezan z Oddelkom za lesarstvo in še naprej neutrudno promovira rabo lesa.



## Srečanje ALUMNI kluba Oddelka za lesarstvo v letu 2018

Katarina Čufar, vodja ALUMNI kluba  
Boštjan Lesar, predsednik Društva lesarjev Slovenije

V letu 2018 smo imeli 11. tradicionalno srečanje ALUMNI kluba Oddelka za lesarstvo 22. 11. 2018. Tokratnega srečanja se je udeležilo preko 105 udeležencev. Tradicionalno smo se začeli zbirati že popoldne in čas izkoristili za ogled oddelka. Člani ALUMNI, ki že dolgo niso bili pri nas, namreč ob vstopu najprej vprašajo: »Kaj je novega?«. V uradnem delu so udeležence nagovorili prodekan Oddelka za lesarstvo prof. dr. Milan Šernek, prodekan Biotehniške fakultete prof. dr. Miha Humar, predsednik Društva lesarjev Slovenije doc. dr. Boštjan Lesar in vodja ALUMNI kluba prof. dr. Katarina Čufar. Med novostmi so izpostavili tudi to, da je v okviru aktivnosti Univerze v Ljubljani (UL) sedaj odprta skupna uradna spletna platforma za ALUMNI klube vseh članic UL.



Naša alumna Jožica Mir, univ. dipl. inž. les. in direktorica poslovne enote J.U.A. FRISCHEIS d.o.o. iz Ljubljane, je predstavila to mednarodno podjetje, ki je bilo glavni sponzor srečanja. Podjetje je kratko predstavljeno tudi v tej reviji.

Tudi tokrat so se predstavile generacije lesarjev, ki so diplomirali pred 40, 30, 20 in 10 leti. Naš alumni Bine Kladnik, univ. dipl. inž. les., je zbral kolege iz ge-



Foto: Jože Planinšič

neracije 1977/78. Predstavili so nam, kako so študirali in se takoj po diplomi večinoma zaposlili na vodilnih mestih v takratnih lesarskih industrijskih velikanih. Večinoma so doživeli tudi zlom velike industrije in se srečali z izzivom novega začetka ter preživetja. Zaradi pestre zgodovine in obilice življenjskih izkušenj je vsakdo na koncu podal tudi sporočilo naslednjim generacijam. Predstavitve so ostali udeleženci srečanja spremljali z veliko naklonjenostjo.

Generacija, ki je diplomirala v letu 1988, se ni uspela sestati in predstaviti. Morda jim uspe prihodnje leto. Predstavila pa se nam je generacija diplomantk in diplomantov iz leta 1998.



Uradnemu delu je sledilo tradicionalno druženje ob pogostitvi in kot že na prejšnjih srečanjih je vse potekalo v veselem prijateljskem vzdušju. Spet so se našli stari prijatelji, sklepala so se nova prijateljstva in tkale medgeneracijske vezi.

Na različnih programih in stopnjah je študij doslej zaključilo nad 2080 kolegic in kolegov. Vsi so neformalno člani ALUMNI kluba in so dobrodošli na vseh aktivnostih.



## J.u.A. Frischeis d.o.o. – podjetje s tradicijo in inovativnostjo

Jožica Mir, univ. dipl. inž. les., J.u.A. Frischeis d.o.o., Ljubljana



Podjetje J.u.A. Frischeis d.o.o. je del mednarodne skupine JAF, ki ima v evropskem prostoru eno od vodilnih vlog v veleprodaji lesa in lesnih polproizvodov. Ustanovljeno je bilo leta 1948 kot majhno družinsko podjetje v okolici Dunaja. Ustanovila sta ga zakonca Josef in Antonia Frischeis, po katerih je podjetje še danes poimenovano. Začetna dejavnost podjetja je bila prodaja lesa in kurjave. Skozi leta se je podjetje prilagajalo vse večjim potrebam domačega trga in se naposled v 90-tih letih začelo širiti tudi na ostala evropska tržišča. Pred kratkim je vstopilo še na azijski in ameriški trg. Danes je skupina JAF s svojimi 59 poslovalnicami prisotna na 3 kontinentih, v 18 državah in skupno zaposluje nad 3000 ljudi. Družinsko podjetje je bilo zgrajeno na vrednotah kot so zaupanje, skrbnost in gospodarnost, ki so še danes osnovno vodilo tako skupine JAF kot posameznih podjetij J.u.A. Frischeis. Za njih je značilna usklajenost med tradicijo in inovativnostjo.

J.u.A. Frischeis d.o.o. je s svojim delovanjem na slovenskem trgu začelo leta 2003, najprej z odprtjem poslovne enote v Ljubljani in manjšega skladišča



v Murski Soboti. Kot edini distributer s celotno ponudbo lesa, furnirja in ostalih lesnih repromaterialov se je podjetje na slovenskem trgu zelo hitro uveljavilo, z vstopom Slovenije v Evropsko unijo pa še dodatno utrdilo. Leta 2006 je podjetje odprlo še poslovno enoto v Šempetru v Savinjski dolini, s katero je pridobilo proizvodne prostore ter dodatne skladiščne kapacitete.

Skupaj J.u.A. Frischeis v Sloveniji zaposluje 38 ljudi. Sedež podjetja je v Ljubljani, kjer se nahajajo uprava, razstavno-prodajni salon in centralno skladišče za ploskovni material in furnir. V letos obnovljeni poslovalnici v Murski Soboti so nov razstavno-prodajni salon in skladiščni prostori za potrebe Pomurja in Podravja. V najmlajši poslovalnici v Šempetru v Savinjski dolini pa se na strojih najnovejše tehnologije izvaja proizvodnja razreza in robljenja plošč; na tej lokaciji pa se nahaja tudi centralno skladišče za gradbeni les in konstrukcijske elemente.

Podjetje J.u.A. Frischeis je do danes v Sloveniji edino podjetje s popolno paleto izdelkov za bivanje in gradnjo z lesom na trgu. Prav tako se lahko pohvali s hitrim odzivnim časom, optimiziranimi procesi logistike in visoko kakovostnimi storitvami. Zastopa priznane blagovne znamke, kot so Fundermax, Egger, Kronospan, Häfele, Tilly, Eurowood, Tilo, Admonter, Hasslacher, Sauerland, Sveza, Garnica, Panquaneta... itd.

J.u.A. Frischeis ima na slovenskem trgu pomembno vlogo tako v lesni industriji kot tudi v gradbeništvu. Poslovni model podjetja J.u.A. Frischeis Slovenija je sestavljen predvsem iz prodaje visoko kakovostnega lesa, furnirja in materialov iz lesa. Manjši del poslovanja je namenjen proizvodnji in dodelavi izdelkov. Prodaja obsega veleprodajo, v manjši meri pa tudi maloprodajo. Na zalogi je več kot 20.000 artiklov, ki jih kupcem dostavijo v najkrajšem možnem času. Pomembna prednost podjetja je razvejanost in globalnost. Podjetje lahko artikle, ki niso na zalogi, v zelo hitrem času dobavi iz skladišč svojih poslovalnic v tujini.

Podjetje pripisuje poseben pomen neposrednim stikom s strankami. Za to skrbi dobro izobraženo in strokovno usposobljeno osebje. Podjetje J.u.A.





Frischeis ima zelo stabilno bazo, tradicijo in znanje. Je zelo dobro organizirano in močno vlaga v zaposlene, pozitivno delovno okolje ter partnerske odnose s kupci in dobavitelji. Na trgu blago ne le distribuira, ampak ga pri lokalnih dobaviteljih tudi nabavlja in nato preko poslovalnic v mreži distribuira v mednarodno okolje. Na ta način J.u.A. Frischeis ponuja slovenskim podjetjem v lesno-predelovalni industriji tudi priložnost, da lahko lesne polizdelke izvažajo v tujino.

Slovenija je znana po bogati tradiciji predelave lesa. Pomen lesa v zadnjem desetletju narašča, saj les vse bolj prepoznavamo kot naravni material, iz katerega lahko ustvarimo tudi najzahtevnejše izdelke in udobno bivalno okolje. Vodilo podjetja J.u.A. Frischeis je slogan »Les je naš svet«, ki je že 70 let neločljivo povezan z vrednotami in kulturo podjetja. Strast do lesa je bila v središču misli ustanoviteljev podjetja in to strast občutijo in s svojim delom delijo tudi zaposleni v podjetju J.u.A. Frischeis.

## Prof. dr. Jože Resnik - zaslužni profesor Univerze v Ljubljani

Milan Šernek



Rektor Univerze v Ljubljani prof. dr. Igor Papič je v tednu univerze v decembru 2018 upokojenim profesorici in profesorjem Univerze v Ljubljani, ki so pomembno prispevali k razvoju znanstvene ali umetniške panoge ter za predano opravljanje pedagoškega in mentorskega dela, podelil nazive zaslužna profesorica in zaslužni profesor. Med zaslužnimi profesorji je tudi prof. dr. Jože Resnik, ki je deloval na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete. Prof. dr. Jože Resnik je poleg izobraževalnega, znanstveno-raziskovalnega in strokovnega dela na univerzi pomembno vplival na razvoj lesarstva v Sloveniji. Opravljal je številne odgovorne funkcije tudi kot prodekan Oddelka za lesarstvo in dekan Biotehniške fakultete, s čemer je vsestransko krepil ugled Univerze v Ljubljani.

