

Šumarski list

Znanstveno, stručno i staleško glasilo Hrvatskoga šumarskog društva
Scientific and professional journal of the Croatian Forestry Society

ISSN 0373-1332 e-ISSN 1846-9140 DOI: 10.31298/sl



 **180**
150
godina

Hrvatskoga
šumarskog
društva

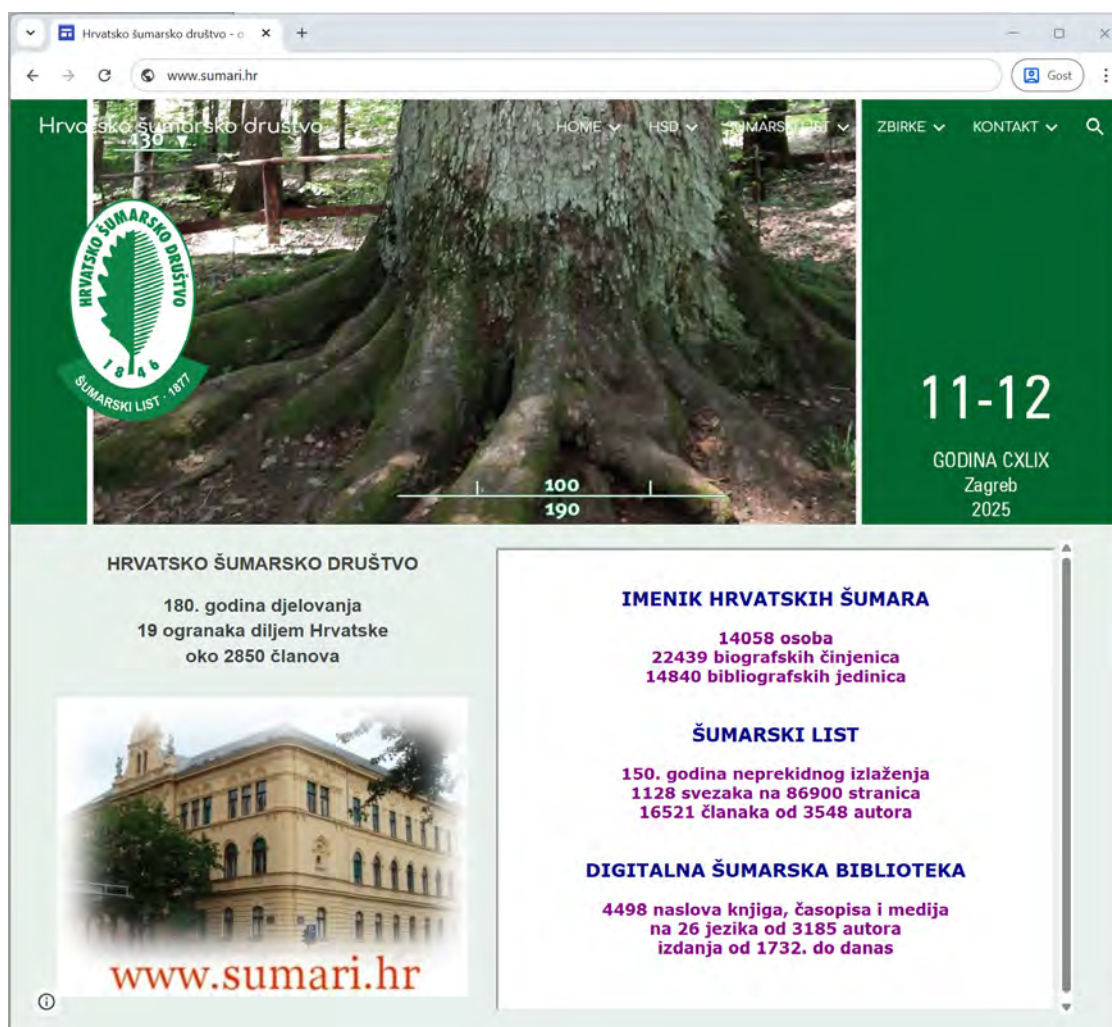
Šumarskog
lista



1-2

2026

GODIŠTE 150.
Zagreb, 2026.



Naslovna stranica – Front page:

180 godina Hrvatskoga šumarskog društva / 150 godina Šumarskog lista.
180 years of the Croatian Forestry Society / 150 years of *Šumarski list*.
(Branko Meštrić 2016./2026.)

Uredništvo
ŠUMARSKOGA LISTA
HR-10000 Zagreb
Trg Mažuranića 11

Telefon: +385 (1) 48 28 359
Fax: +385 (1) 48 28 477

e-mail: urednistvo@sumari.hr

Šumarski list online – *Šumarski list* Online
Prijava radova – Manuscript submission

<https://sumlist.online>

Izdavač:
HRVATSKO ŠUMARSKO DRUŠTVO

Publisher:
CROATIAN FORESTRY SOCIETY

Suizdavač:
Hrvatska komora inženjera šumarstva i drvne tehnologije

Financijska pomoć Ministarstva znanosti, obrazovanja i mladih.

Dizajn i grafička priprema: Branko Meštrić

Tisak: CBprint – Samobor

Naklada 1660 primjeraka

Šumarski list

Znanstveno, stručno i staleško glasilo Hrvatskoga šumarskog društva
Scientific and Professional Journal of the Croatian Forestry Society

ISSN: 0373-1332

e-ISSN: 1846-9140

DOI: 10.31298/sl

Uređivački savjet – Editorial Council

Akademik Igor Anić
Emil Balint, dipl. ing. šum.
Mr. sc. Boris Belamarić
Daniela Cetinjanin, dipl. ing. šum.
David Crnić, dipl. ing. šum.
Mr. sp. Mandica Dasović
Mr. sc. Damir Delač
Damir Dramalija, dipl. ing. šum.
Anto Glavaš, dipl. ing. šum.
Goran Gobac, dipl. ing. šum.
Mr. sc. Goran Gregurović
Prof. dr. sc. Marijan Grubešić

Prof. dr. sc. Boris Hrašovec
Prof. dr. sc. Marilena Idžojić
Krešimir Jakupak, dipl. ing. šum.
Prof. dr. sc. Vladimir Jambrečković
Marina Juratović, dipl. ing. šum.
Josip Kovačić, dipl. ing. šum.
Ivan Krajačić, dipl. ing. šum.
Valentina Kulaš, dipl. ing. šum.
Dorica Matešić, dipl. ing. šum.
Izv. prof. dr. sc. Stjepan Mikac
Darko Mikičić, dipl. ing. šum.
Damir Miškulin, dipl. ing. šum.

Krešimir Pavić, dipl. ing. šum.
Martina Pavičić, dipl. ing. šum.
Doc. dr. sc. Sanja Perić
Darko Posarić, dipl. ing. šum.
Ante Šimić, dipl. ing. šum.
Prof. dr. sc. Ivica Tikvić
Mr. sc. Dalibor Tonc
Davor Topolnjak, dipl. ing. šum.
Izv. prof. dr. sc. Dinko Vusić
Dr. sc. Silvija Zec
Dražen Zvirotić, dipl. ing. šum.

Urednički odbor – Editorial Board

Šumski ekosustavi – Forest Ecosystems

Prof. dr. sc. Dario Baričević

urednik područja – *Subject Editor*

Prof. dr. sc. Željko Škvorc, izv. prof. dr. sc. Martina Temunović

Šumarska botanika – *Forest Botany*

Doc. dr. sc. Irena Šapić, dr. sc. Jasnica Medak

Šumarska fitocenologija – *Forest Phytocoenology*

Izv. prof. dr. sc. Krunoslav Sever, dr. sc. Ivan Seletković

Fiziologija i ishrana bilja – *Physiology and Nutrition of Plants*

Izv. prof. dr. sc. Igor Poljak

Dendrologija – *Dendrology*

Izv. prof. dr. sc. Ida Katičić Bogdan, dr. sc. Mladen Ivanković

Genetika i oplemenjivanje šumskoga drveća – *Genetics and Forest Tree Breeding*

Izv. prof. dr. sc. Ivan Perković

Šumarska pedologija i gospodarenje tlom – *Forest Pedology and Soil Management*

Prof. dr. sc. Marijan Grubešić, prof. dr. sc. Krešimir Krapinec, izv.

prof. dr. sc. Kristijan Tomljanović

Lovstvo – *Wildlife Management*

Uzgojanje šuma – Silviculture

Akademik Igor Anić

urednik područja – *Subject Editor*

Izv. prof. dr. sc. Stjepan Mikac

Prirodno uzgojanje šuma – *Close-to-Nature Silviculture*

Prof. dr. sc. Damir Ugarković

Ekologija i bioklimatologija – *Forest Ecology and Bioclimatology*

Doc. dr. sc. Sanja Perić

Šumske kulture – *Forest Cultures*

Dr. sc. Lukrecija Butorac

Melioracije krša, šume na kršu – *Karst Amelioration, Forests on Karst*

Dr. sc. Nenad Potočić

Monitoring šumskih ekosustava – *Forest Ecosystem Monitoring*

Šumarske tehnike i tehnologije – Forest Engineering

Prof. dr. sc. Tomislav Poršinsky

urednik područja – *Subject Editor*

Izv. prof. dr. sc. Andrea Đuka, izv. prof. dr. sc. Dinko Vusić

Pridobivanje drva i drvni šumski proizvodi – *Timber Harvesting and Wood Forest Products*

Prof. dr. sc. Marijan Šušnjar

Mehanizacija u šumarstvu – *Mechanization in Forestry*

Prof. dr. sc. Tibor Pentek

Šumske prometnice – *Forest Roads*

Izv. prof. dr. sc. Matija Landekić

Poslovni proces i sigurnosti rada u šumarstvu – *Business Process and Occupational Safety in Forestry*

Doc. dr. sc. Iva Ištók Pandur

Znanost o drvu i tehnologija drva – *Wood Science and Wood Technology*

Zaštita šuma – Forest Protection

Prof. dr. sc. Danko Diminić

urednik područja – *Subject Editor*

Fitofarmacija u zaštiti šuma – *Phytopharmacy in Forest Protection*

Dr. sc. Milan Pernek

Integralna zaštita šuma – *Integral Forest Protection*

Izv. prof. dr. sc. Jelena Kranjec Orlović

Šumarska fitopatologija – *Forest Phytopathology*

Dr. sc. Dinka Matošević

Šumarska entomologija – *Forest Entomology*

Prof. dr. sc. Josip Margaletić

Zaštita od sitnih glodavaca – *Protection Against Small Rodents*

Izmjera i kartiranje šuma – Forest Mensuration and Mapping

Prof. dr. sc. Ante Seletković

urednik područja – *Subject Editor*

Dr. sc. Ivan Balenović, izv. prof. dr. sc. Jelena Kolić

Daljinska istraživanja i GIS u šumarstvu – *Remote Sensing and GIS in Forestry*

Prof. dr. sc. Mario Božić

Izmjera šuma – *Forest Mensuration*

Izv. prof. dr. sc. Mario Ančić

Izmjera terena s kartografijom – *Terrain Mensuration with Cartography*

Prof. dr. sc. Anamarija Jazbec

Biometrika u šumarstvu – *Biometrics in Forestry*

Uređivanje šuma – *Forest Management*

Izv. prof. dr. sc. Krunoslav Teslak

urednik područja – *Subject Editor*

Prof. dr. sc. Jura Čavlović

Uređivanje šuma – *Forest Management*

Prof. dr. sc. Stjepan Posavec

Šumarska ekonomika i marketing u šumarstvu – *Forest Economics and Marketing in Forestry*

Dr. sc. Hrvoje Marjanović

Pohrana ugljika – *Carbon Storage*

Urbano šumarstvo, zelena infrastruktura i zaštita prirode – *Urban Forestry, Green Infrastructure and Nature Protection*

Izv. prof. dr. sc. Vinko Paulić

urednik područja – *Subject Editor*

Arborikultura – *Arboriculture*

Prof. dr. sc. Ivica Tikvić

Ekologija i usluge urbanih šumskih ekosustava – *Ecology and Urban Forest Ecosystem Services*

Prof. dr. sc. Damir Barčić

Zaštita prirode – *Nature Protection*

Izv. prof. dr. sc. Kruno Lepoglavec

Zelena infrastruktura i rješenja temeljena na prirodi – *Green Infrastructure and Nature-based Solutions*

Dr. sc. Silvija Krajter Ostoić

Upravljanje urbanim šumskim ekosustavima – *Urban Forest Ecosystem Governance*

Povijest šumarstva, šumarska politika, Hrvatsko šumarsko društvo – *Forestry History, Forest Policy, Croatian Forestry Society*

Oliver Vlanić, dipl. ing. šum.

urednik područja – *Subject Editor*

Staleške vijesti, šumarsko zakonodavstvo – *Forestry-related News, Forest Legislation*

Mr. sp. Mandica Dasović

Povijest šumarstva – *Forestry History*

Branko Meštrić, dipl. ing. šum.

Šumarske bibliografije, izdavaštvo i mediji – *Forestry Bibliography, Publishing and Media*

Članovi Uredničkog odbora iz inozemstva – *Members of the Editorial Board from Abroad*

Professor Jane Acevski, PhD

Professor Vlatko Andonovski, PhD

Professor Dalibor Ballian, PhD

Professor Faruk Bogunić, PhD

Professor Andrej Bončina, PhD

Professor Robert Brus, PhD

Thomas Cech, PhD

Professor Andraž Čarni, PhD

Professor Mirza Dautbašić, PhD

Professor Jurij Diaci, PhD

Professor Lucio Montecchio, PhD

Associate Professor Radek Pokorný, PhD

Professor Milan Saniga, PhD

Professor Bojan Simovski, PhD

Professor Kiril Sotirovski, PhD

Professor Karl Stampfer, PhD

Savjetodavni odbor – *Advisory Board*

Akademik Vladimir Beus

Prof. dr. sc. Milan Glavaš

Prof. emer. dr. sc. Boris Hrašovec

Mr. sc. Petar Jurjević

Prof. dr. sc. Davorin Kajba

Dr. sc. Vlado Topić

Prof. emer. dr. sc. Josko Vukelić

Glavna i odgovorna urednica – *Editor-in-Chief*

Prof. dr. sc. Marilena Idžojić

Lektorica – *Language Editor*

Nina Bađun, mag. philol. angl.

Korektor – *Proofreader*

Oliver Vlanić, dipl. ing. šum.

Tehnički urednik, dizajn i grafička priprema – *Technical Editor, Layout Design and Typesetting*

Branko Meštrić, dipl. ing. šum.

Znanstveni članci podliježu međunarodnoj recenziji. Recenzenti su doktori znanosti u Hrvatskoj i drugim zemljama, prema odluci Uredništva.

Na osnovi mišljenja Ministarstva znanosti, obrazovanja i mladih Republike Hrvatske, Šumarski list smatra se znanstvenim časopisom.

Časopis referiraju: Science Citation Index Expanded, CAB Abstracts, Forestry Abstracts, Agricola, Pascal, Geobase, SCOPUS, Portal hrvatskih znanstvenih i stručnih časopisa (Hrčak) i dr.

Scientific articles are subject to international peer review. Reviewers are doctors of science from Croatia and other countries, appointed by the Editorial Board.

Based on the opinion of the Ministry of Science, Education and Youth of the Republic of Croatia, *Šumarski list* is classified as a scientific magazine.

Articles are abstracted by or indexed in: Science Citation Index Expanded, CAB Abstracts, Forestry Abstracts, Agricola, Pascal, Geobase, SCOPUS, Portal of Croatian scientific and professional journals (Hrčak) et al.

CJENIK OGLAŠAVANJA U ŠUMARSKOM LISTU:

cijela stranica 480 €, 1/2 stranice 240 €, 1/3 stranice 160 €, 1/4 stranice 120 €, 1/8 stranice 60 €. Sve cijene su s uključenim PDV-om.

SADRŽAJ

CONTENTS

Uvodnik – Editorial

180 godina Hrvatskoga šumarskog društva i 150 godina Šumarskog lista – 180 years of the Croatian Forestry Society and 150 years of the Šumarski list	5
---	----------

Izvorni znanstveni članci – Original scientific papers

https://doi.org/10.31298/sl.150.1-2.1 Marko Bačurin, Ida Katičić Bogdan, Krunoslav Sever, Saša Bogdan Rootstock Influence on Intra-Clonal Variability in Spring Leaf Phenology of Pedunculate Oak (<i>Quercus robur</i> L.) ...	7
https://doi.org/10.31298/sl.150.1-2.2 Aleksandar Vemić, Sanja Lazić, Aleksandar Lučić, Zlatan Radulović, Ljubinko Rakonjac, Snežana Stajić, Vladan Popović Influence of the <i>Salix caprea</i> Genotype and Leaf Characteristics on the Occurrence of Fungus <i>Me-lampsora caprearum</i>	19

Pregledni radovi – Review papers

https://doi.org/10.31298/sl.150.1-2.3 Ognjen Bonacci Uloga šuma u hidrološkim procesima – The Role of Forests in Hydrological Processes	27
https://doi.org/10.31298/sl.150.1-2.4 Velisav Karaklić, Miljan Samardžić, Zoran Galić Factors Affecting Soil CO₂ Emission in Forest Ecosystems – a Literature Overview	35

Stručni radovi – Professional papers

https://doi.org/10.31298/sl.150.1-2.5 Martina Đodan, Andrija Barišić Kvaliteta šumskog sadnog materijala – važnost, opis i metodologija – Quality of Forest Planting Material – Importance, Description and Methodology	47
https://doi.org/10.31298/sl.150.1-2.6 Mihael Delić, Kruno Lepoglavec, Hrvoje Nevečerel Zeleni koridori kao alat prostornog povezivanja i održivog razvoja – Green Corridors as a Tool for Spatial Connectivity and Sustainable Development	55

Popularni članci i društvene vijesti – General Articles and Society News

Iznimna stabla

Domagoj Trlin, Nikola Magdić, Luka Prša, Marko Orešković Starica iz Čorkove uvale – najstarija bukva (<i>Fagus sylvatica</i> L.) u Hrvatskoj	65
--	-----------

Novi doktori znanosti

Jasnica Medak Dr. sc. Ivana Sirovica	67
--	-----------

Znanstveni i stručni skupovi

Željko Škvorc, Damir Dramalija Utjecaj invazivnih stranih biljaka na upravljanje urbanim zelenim površinama	69
Christian Gallo Park-šuma Čikat – prirodno blago Lošinja	72

Povijest šumarstva

Mandica Dasović

O šumi, od šume! Povijesni hod kroz šume i šumarstvo čazmanskog kraja 76

Hrvatsko šumarsko društvo

Oliver Vlainić

56. EFNS u talijanskoj regiji Furlanija-Juljska krajina 79

Oliver Vlainić

Prva Noć muzeja u Šumarskom domu 83

Zapisnik 129. redovite sjednice Skupštine Hrvatskoga šumarskog društva 86

In memoriam

Marijan Grubešić

Ivo Čeović (4. 2. 1886. – 14. 11. 1971.)..... 94

Stjepan Šlat (1943. – 2025.)..... 96



180 godina Hrvatskoga šumarskog društva i 150 godina Šumarskog lista

Poziv na šumare hrvatske i slavonske!

Pozivaju se time uljudno sva p. n. gospoda šumari hrvatske i slavonske zemlje na skupštinu, koja će bit na 26. prosinca (Dec.) o. g. u varmedji križevačkoj na Prečcu, u gradu preuzvišenoga gospodina biskupa zagrebačkoga, zato, da se ustanovi društvo šumarsko kao podružnica društva gospodarskoga hrvatsko-slavonskoga. Sjednica počima u 9 urah prije pódne.

Ovo je poziv objavljen u dva broja Novina hrvatsko-slavonsko-dalmatinskih (današnje Narodne novine) br. 99 od 12. prosinca 1846. i br. 100 od 16. prosinca 1846. na osnivačku skupštinu **Društva gospodarskoga horv.-slav. odsěka za šumarstvo** što se smatra početkom rada današnjega **Hrvatskog šumarskog društva**. Na Štefanje **26. prosinca 1846.** u biskupskom dobru Prečec, mjestu između Dugog Sela i Ivanić Grada, okupili su se šumari kojima dugujemo tako dugo postojanje Društva:

Na učinjeni u tu svèrhu javni poziv izkupilo se je u pèrkos najnepriatnijoj dobi godišta, zločestome vrèmenu i mèstnim povodnjam, ipak 17 šumarah u gradu Prečcu

Time je započeo 180 godina dug put trećega najstarijeg šumarskog društva u Europi, poslije njemačkog i švicarskog društva, koje danas ima više od 2 800 članova. Dok je Društvo opstajalo mijenjali su se državni okviri (šest država) i njezini nazivi (10 naziva država) u kojima je djelovalo, a i samo Društvo mijenjalo je svoje nazive 13 puta.

Tijekom 180 godina djelovanja na čelu Društva su najprije zaslužnici koji su razvijali hrvatsko šumarstvo, a potom i osnovali Hrvatsko-slavonsko šumarsko društvo 1876. godine. Slijedili su ih plemenitaši, šumovlasnici, veleposjednici, šumarski dužnosnici na raznim razinama državne vlasti, a ponekad i smjerni činovnici. Najčešće su za predsjednika Društva birani ugledni sveučilišni profesori Šumarskog fakulteta i uvaženi šumari praktičari. Danas društvo vodi 41. predsjednik, ugledni znanstvenik akademik Igor Anić. U operativnom smislu Društvom su upravljali tajnici, njih 44 do sada, također ljudi iz struke vrlo širokog profila, od činovnika do vrhunskih znanstvenika. U jubilarnu godinu društvo uvodi tajnik Oliver Vlaineić, ugledni šumar praktičar, također i bivši predsjednik Društva u dva mandata.

Od samog nastanka Društvo se svojim djelovanjem nastojalo izboriti za probitak šumarstva i predlagalo donositeljima političkih odluka ono što je u određenom vremenu smatralo najbitnijim za šume i šumarstvo. To su bili zakonski i podzakonski propisi vezani za šumarstvo, osnutak obrazovnih, znanstvenih i profesionalnih šumarskih i

drvno-tehnoloških ustanova, organizacija šumarske uprave te šumskogospodarski zahvati u redovnim i izvanrednim situacijama. Članstvo Društva uvijek su činili svi slojevi struke od operativnog preko znanstvenog do upravljačkog i nadzornog sektora. Danas je Hrvatsko šumarsko društvo strukovna i staleška udruga šumarskih stručnjaka te stručnjaka iz područja lovstva, prerade i uporabe drva, biotehnike, kao i drugih stručnjaka s najmanje srednjom stručnom spremom koji rade na poslovima iz svih navedenih područja. Sadašnja i buduća vremena prilika su Hrvatskom šumarskom društvu da nastavi okupljati šumarsku i drvno-tehnološku struku i znanost te svojim glasom i djelom doprinijeti prilagodbi svim izazovima koji se javljaju na državnoj i globalnoj razini.

Šumarski list ove godine diči se svojim 150. godištem neprekinutog izlazenja te je najstariji hrvatski znanstveni časopis bez prekida u stvaranju i tiskanju. U svjetskim razmjerima pripada skupini deset najstarijih šumarskih časopisa. Jedan je i od starijih ekoloških časopisa. Šumarski list od svoga prvog dana, a izašao je s nadnevkom **1. siječnja 1877.**, bio je kronika zbivanja u hrvatskom šumarstvu, ali i šire. Zahvaljujući plejadi vrsnih urednika časopisa, koji su nekada dolazili iz operativnog šumarstva, a kasnije uglavnom iz znanstvenog segmenta šumarstva, stvoreno je cijeljeno i prepoznatljivo glasillo. Među urednicima posebno treba spomenuti prof. emer. Branimira Prpića koji je čak 41 godinu bio glavni urednik časopisa. Impozantna je statistika koja u 149 dosadašnjih godišta iznosi 1 128 izdanih svezaka i 86 900 stranica. Ne smije se zaboraviti ni kompletnu digitaliziranu arhivu časopisa kao i njegov otvoreni pristup s objavljivanjem na Hrčku – Portalu hrvatskih znanstvenih i stručnih časopisa od 2006. godine.

U obljetničkoj godini Šumarski list počinje sa svojom preobrazbom. Nakon 32 godine prepoznatljivih zelenih korica A4 formata časopis dobiva novo ruho s bijelom podlogom. Novi urednički tim, glavna urednica prof. dr. sc. Marilena Idžojić te tehnički i grafički urednik Branko Meštrić, dipl. ing. šum., nakon polugodišnjeg uigravanja tijekom 2025. godine pred čitatelje i javnost izlaze s modernijim izgledom ne samo korica nego i cijeloga knjižnog bloka. Krajem prošle godine pokrenuta je nova rubrika o iznimnim stablima naših šuma, a novih rubrika bit će i ubuduće. Naravno da je šumarska struka i znanost pozvana uključiti se svojim doprinosom u stvaranje novih sadržaja ovoga s ponosom **hrvatskoga šumarskog znanstveno-stručnog i staleškog glasila**.

Pozivamo sve članove Hrvatskoga šumarskog društva, ali i šumarsku struku i znanost, da svojim aktivnostima u 2026. godini dostojno obilježe ove više nego značajne obljetnice.

180th anniversary of the Croatian Forestry Society and 150th anniversary of *Šumarski list*

In this year, we are marking the **180th anniversary of the Croatian Forestry Society** and the **150th anniversary of *Šumarski list***.

In two issues of *Novine hrvatsko-slavonsko-dalmatinske* (today's *Narodne novine – Croatian Official Gazette*), No. 99 of 12 December 1846 and No. 100 of 16 December 1846, an invitation was published to the foresters of Croatia and Slavonia of that time to attend the founding assembly of the Forestry Department of the Croatian-Slavonian Economic Society, which is considered the beginning of today's **Croatian Forestry Society**. On St Stephen's Day, **26 December 1846**, foresters to whom we owe the Society's long existence gathered at the episcopal estate of Prečec, a location between Dugo Selo and Ivanić Grad. Despite poor weather conditions and flooding, 17 foresters attended the founding assembly.

Thus began a 180-year journey of the third oldest forestry society in Europe, after the German and Swiss societies, which today has more than 2,800 members. During the Society's existence, the states in which it operated changed (six states), as did their names (ten state names), while the Society itself changed its name 13 times.

Over 180 years of its activity, the Society was initially led by distinguished individuals who developed Croatian forestry and later founded the Croatian-Slavonian Forestry Society in 1876. They were succeeded by noblemen, forest owners, landowners, forestry officials at various levels of state administration, and sometimes also modest civil servants. Most often, the presidents of the Society were eminent university professors of the Faculty of Forestry as well as respected forestry professional. Today, the Society is headed by its 41st president, the distinguished scientist, Academician Igor Anić. In operational terms, the Society has been managed by secretaries, 44 of them to date, also professionals of very broad backgrounds, ranging from civil servants to prominent scientists. In this jubilee year, the Society is led by Secretary Oliver Vlanić, a respected forestry professional and former President of the Croatian Forestry Society for two terms.

From its very beginning, through its activities the Society sought to promote the advancement of forestry, and proposed to political decision-makers what it considered, at a given time, to be of best interest for forests and forestry. Its work included proposing legislative and subordinate regulations related to forestry, the establishment of educational, scientific and professional forestry and wood-technology institutions, the organisation of forest administration, and forest management interventions in both regular and exceptional circumstances. The Society has always included

all ranks of forestry professionals as its members, from operational and scientific to managerial and supervisory sectors. Today, the Croatian Forestry Society is a professional and guild association of forestry experts, experts in hunting, wood processing and wood utilisation, biotechnology, as well as other professionals with at least secondary education who work in any of the aforementioned fields. The present and future times provide an opportunity for the Croatian Forestry Society to continue bringing together the forestry and wood-technology profession and science, and to use its voice and its actions to help in the adaptation to all challenges arising at the national and global levels.

This year, *Šumarski list* proudly celebrates its **150th anniversary of uninterrupted publication**, which makes it the oldest Croatian scientific journal with continuous production and printing. On a global scale, it is among the ten oldest forestry journals and among older ecological journals. From its very first day of publication, dated **1 January 1877**, *Šumarski list* has served as a chronicle of events in Croatian forestry and beyond. Thanks to a succession of outstanding editors, initially from operational forestry and later predominantly from the scientific community, a respected and recognisable journal has been created. Among the editors, special mention should be made of Prof. emeritus Banimir Prpić, who served as editor-in-chief of the journal for as many as 41 years. The statistics are impressive: over the 149 volumes published to date, 1,128 issues and 86,900 pages have been produced. It is also important to mention the journal's fully digitised archive and its open access availability via Hrčak – the Portal of Croatian Scientific and Professional Journals, since 2006. This anniversary year, *Šumarski list* shall start with its transformation. After 32 years of recognisable green A4-format covers, the journal is receiving a new look with a white background. The new editorial team—Editor-in-Chief Prof. Marilena Idžojić, PhD, and Technical and Layout Editor Branko Meštrić, BSc in Forestry—after six months of preparation during 2025, is presenting to the readers and the public a more modern appearance, not only of the cover but of the entire journal layout. At the end of last year, a new section dedicated to exceptional trees of our forests was established, and additional new sections are planned for the future. Of course, the forestry profession and scientific community are invited to contribute to the creation of new content for this proud **Croatian forestry scientific, professional and guild journal**.

We invite all members of the Croatian Forestry Society, as well as the forestry profession and scientific community, to mark these more than significant anniversaries with dignity through their activities in 2026.

Rootstock Influence on Intra-clonal Variability in Spring Leaf Phenology of Pedunculate Oak (*Quercus robur* L.)

Marko Bačurin*, Ida Katičić Bogdan, Krunoslav Sever, Saša Bogdan

University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology, Zagreb, Croatia

* Corresponding author: Marko Bačurin, e-mail: mbacurin@sumfak.unizg.hr

Abstract

This study aimed to investigate the influence of rootstock on intra-clonal variation in spring leaf phenology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) clones. In the context of clonal seed orchards, phenological synchrony is critical for successful pollination and seed production. While leaf phenology is largely under genetic control, increasing evidence suggests that rootstocks can influence scion phenology.

The experiment was conducted at the Brestje nursery using 43 pedunculate oak clones, each represented by three grafted ramets on genetically diverse seedling rootstocks. Phenological monitoring was carried out from 2010 to 2014, and intra-clonal differences in budburst timing (phenophase 3) were analyzed using bootstrap analysis. Additionally, the impact of a late spring frost in 2012 was assessed by comparing the timing of phenophase 4 between frost-damaged and frost-surviving ramets.

Results showed that, despite genetic uniformity, there was significant intra-clonal variability in budburst timing. In 2010, as many as 79.1% of clones exhibited a budburst range of ≥ 3 days between ramets, which can be considered a biologically meaningful threshold. The highest level of phenological synchrony was recorded in 2013. Notably, ramets that flushed later were less susceptible to frost damage, with the greatest observed difference between damaged and undamaged ramets being 21 days.

These findings highlight the critical role of rootstock in shaping scion phenology, particularly in the context of optimizing seed production and weather adaptability in clonal seed orchards.

Keywords: pedunculate oak, rootstock, leaf phenology, intra-clonal variation, frost resistance, clonal seed orchards

DOI:
<https://doi.org/10.31298/sl.150.1-2.1>

How to Cite:

Bačurin, M., I. Katičić Bogdan, K. Sever, S. Bogdan, 2026: Rootstock influence on intra-clonal variability in spring leaf phenology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.). Šumarski list 150 (1–2): 7–18, 2026. <https://doi.org/10.31298/sl.150.1-2.1>



This work is licensed under a Creative Commons
Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

INTRODUCTION

Pedunculate oak (*Quercus robur* L.) forest stands' regeneration can be achieved naturally through shelterwood cutting. However, in many situations—particularly where natural regeneration proves insufficient—artificial methods such as seed sowing or seedling planting become necessary. To ensure effective forest regeneration in cases requiring artificial methods, it is advisable to rely on high-quality reproductive material that meets genetic and ecological standards.

To enhance the genetic quality of forest reproductive material and increase the frequency and abundance of seed production, clonal seed orchards have been established in Croatia (Vidaković 1996). These orchards are established through heterovegetative propagation (grafting) of “plus trees”—phenotypically superior individuals selected from natural forest stands.

A critical goal in clonal seed orchards' management is to ensure a sufficient number of genotypically distinct clones for seed production, i.e. to maximize effective population size (Kramer et al. 2008). To facilitate successful pollination among these clones, phenological synchrony, the uniformity of developmental timing across clones, is of vital importance (Franjić et al. 2011).

It is well known that budburst is under strong genetic control and exhibits high heritability. This has been confirmed in various tree species, including pedunculate oak (Scot-Saintagne et al. 2004), poplar (*Populus* spp.) (Frewen et al. 2000), and birch (*Betula* spp.) (Billington and Pelham 1991). Although it is strongly influenced by the genome, the primary environmental triggers for leaf phenological events are temperature and photoperiod. These factors determine the narrow time window during which environmental conditions are optimal for plant development (Robson et al. 2013, Basler and Korner 2014, Zohner and Renner 2015).

The timing and progression of spring leaf phenology, including the phases from budburst to full leaf expansion, significantly influence the length of the growing season and act as major drivers of ecological processes in temperate forests (Polgar and Primack 2011). Trees that set buds too early in the fall or flush too late in the spring may experience a shortened growing season, reducing both competitive ability and growth potential (Frewen et al. 2000).

Optimal phenological timing allows trees to avoid late spring frosts that can damage sensitive tissues and to extend the photosynthetically active period, thereby enhancing biomass production (Lockhart 1983, Leinonen and Hänninen 2002, Gömöry and Paule 2011). While temperature and photoperiod are considered the primary drivers of phenological development, a range of additional abiotic and biotic factors—known in the literature as atypical—can also exert significant influence on phenological traits (Bačurin et al. 2023). These include drought stress (Vander Mijnsbrugge et al. 2016, Bačurin et al. 2025), nutrient availability (Bačurin et al. 2023), and, in cases of severe insect infestation, phenological shifts in spring leaf development (Haukioja et al. 1988, Kaitaniemi et al. 1997).

In addition to the previously mentioned atypical factors, several studies have indicated that grafting can also lead to

rootstock-induced effects on the scion phenology (Young and Houser 1980, Durner and Goffreda 1992, Camisón et al. 2021). In forestry and horticulture, rootstocks are used to improve graft compatibility, regulate scion vigor, and enhance reproductive success (Jayawickrama et al. 1991). Studies in fruit species have shown that rootstocks can affect vegetative growth, fruit yield, as well as the phenological and physiological traits of the scion, including leaf and flower development (Wang et al. 1994; Jiménez et al. 2004, 2011; Tworkoski and Miller 2007; Neilsen et al. 2016). It has also been established that the use of specific rootstocks can improve drought tolerance (Tworkoski et al. 2016).

Although the influence of rootstocks on phenological traits is well known in fruit crops, their effects on scion phenology in forest tree species, such as pedunculate oak, remains insufficiently studied. Given the ecological and silvicultural importance of this species, understanding rootstock-scion interactions is particularly relevant in the context of establishing clonal seed orchards, since grafting is the standard methodology used for their establishment. This study aimed to assess whether different rootstock genotypes influence intra-clonal variability in budburst timing among pedunculate oak clones. Such knowledge is critical to ensuring phenological synchrony among ramets and to maximizing seed production in clonal seed orchards.

MATERIAL AND METHODS

Experimental Design and Plant Material

The data used in this study were collected from an experimental trial established at the Brestje nursery (45.84°N, 16.10°E), managed by Croatian Forests Ltd. The trial was set up using heterovegetatively propagated (grafted) pedunculate oak clones, originating from Kosovac (45°36'09.8"N 17°58'03.3"E), Petkovac (45°08'49.2"N 18°51'36.5"E), and Plešćice I (45°44'52.2"N 16°35'14.7"E) clonal seed orchards. Planting began on 13 March 2008, following a randomized complete block design with three replications. Each of the 150 clones was represented by one ramet per block, resulting in a total of 450 ramets.

Scion material for heterovegetative propagation and trial establishment was collected in the spring of 2007 from the previously mentioned clonal seed orchards and was immediately grafted onto previously prepared rootstocks. These rootstocks had been grown from acorns one year earlier, in the spring of 2006. The acorns were sampled from natural oak populations, and their genetic background is unknown. However, it is assumed that rootstocks are genetically diverse.

Phenological observations of budburst were conducted twice a week until complete leaf development was recorded for all clones. A 1–7 ordinal scale, as described by Franjić et al. (2011), was used to assess phenological phases. All observations were performed by an experienced observer, and the recorded phenological scores were used as input for subsequent statistical analyses.

Data Processing and Statistical Analysis

Although the experimental trial was established in 2008, phenological monitoring data used in this study were an-

alyzed starting from 2010, in order to avoid potential transplant shock effects that may have influenced early plant development. The dataset spans from 2010 to the end of the monitoring period in 2014. It is important to note that data from the year 2012 were excluded from this part of the analysis, which focuses on phenological synchronization, due to the occurrence of a late spring frost that year. This climatic event may have negatively affected plant development and compromised the reliability of the results.

Data were filtered to include only those clones for which all three ramets were consistently represented across all observation years included in the study. In the end, the analysis was conducted on 43 clones, each represented by three ramets.

Data processing and visualization were performed using R statistical software (version 4.4.3; R Development Core Team 2024). Data cleaning, transformation, and preparation were carried out using the packages tidyverse (version 2.0.0), dplyr (version 1.1.4), tidyr (version 1.3.1), zoo (version 1.8-13), rstatix (version 0.7.2), and lubridate (version 1.9.4).

Data visualization was conducted using ggplot2 (version 3.5.1), ggstatsplot (version 0.12.3), ggalt (version 0.4.0), and gridExtra (version 2.3). In addition, summary results were formatted and presented in tabular form using the gt (version 1.0.0) and formattable (version 0.2.1) packages.

For further analysis, the exact date when a plant entered a specific phenological phase was extracted. In cases where the entry into a phenophase was not directly observed, i.e., when the transition occurred between two monitoring dates, interpolation was used to determine the date of phase onset. These interpolated values were subsequently used in statistical analyses.

The Shapiro–Wilk test indicated that the phenological data were not normally distributed. To assess differences in phenological timing among ramets within individual clones, a bootstrap analysis was performed using the boot (version 1.3.31) package. This non-parametric resampling approach provided robust estimates of confidence intervals and test statistics based on 2,000 resamples with replacement from the original dataset. The analysis evaluated whether differences occurred among ramets of the same clone in the date of entry into phenophase 3, corresponding to budburst and marking the onset of vegetative growth—a critical stage influencing both the length of the growing season and a clone's exposure to environmental stressors such as late spring frost.

Temperature Data and Biological Threshold Determination

Daily minimum and mean air temperature data were obtained from the Croatian Meteorological and Hydrological Service and recorded at the Maksimir meteorological station (45°49'19"N 16°02'01"E), the nearest station to the experimental site. On 10 April 2012, a late spring frost occurred, causing significant damage to ramets that had already reached advanced phenological phases ($\geq$ phenophase 4). Using an interpolation model, the exact date each ramet entered phenophase 4 (folded leaf visible) was determined. Ramets that had reached phenophase 4 or higher (≥ 4) on or before 10 April 2012, the date of the frost event, were classified as frost-damaged, while those that entered this phase afterward were classified as frost-surviving. For each clone, the difference in days between the phenophase 4 onset of damaged and surviving ramets was calculated. The analysis revealed that a delay of just three days in reaching phenophase 4 was sufficient to avoid frost injury; this difference was therefore adopted as a biological threshold for frost avoidance. This finding was then used to define a three-day or greater difference in budburst timing (phenophase 3) among ramets within a clone as biologically significant.

RESULTS

Bootstrap Analysis of Intra-clonal Variation in Spring Leaf Phenology

In 2010, the results indicated that 11.2% of clones exhibited statistically significant differences ($p < 0.05$) in phenophase dynamics between their ramets. This proportion increased in 2011 to 17.8%, suggesting greater intra-clonal variability in that year. In 2013, the proportion of clones with significant within-clone differences slightly decreased to 14.4%. However, in 2014, this percentage rose noticeably to 24.8%, representing the highest level of intra-clonal phenological divergence across the analyzed years (Figure 1).

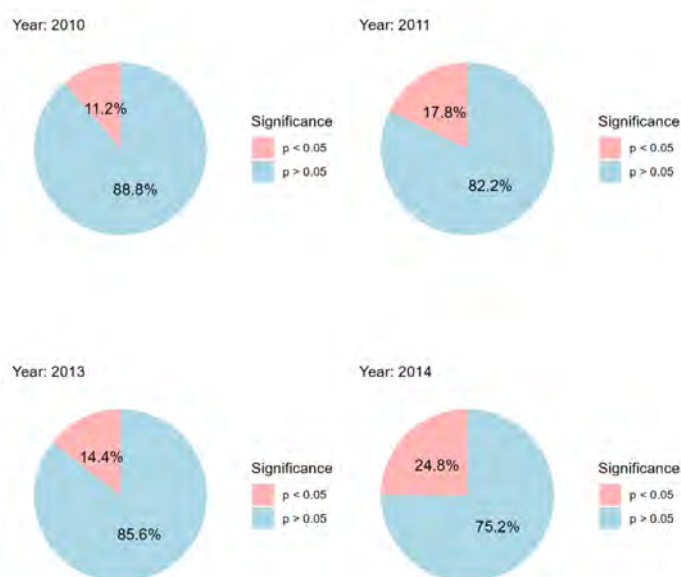


Figure 1 Proportion of clones showing significant phenological differences between their ramets across years (2010, 2011, 2013, and 2014), based on bootstrap analysis in phenophase 3. The red segments ($p < 0.05$) represent clones with statistically significant intra-clonal variation in phenophase progression, while blue segments ($p > 0.05$) indicate clones without significant differences.

Dynamics of Spring Leaf Development in Clone BJ 39

The progression of spring phenological phases was tracked in three ramets (a, b, and c) of clone BJ 39 during four years: 2010, 2011, 2013, and 2014. Clone BJ 39 was selected as a representative example to illustrate intra-clonal variation among the clones analyzed in the study. The phenological curves show year-to-year variation in both the onset and rate of development among the ramets (Figure 2).

In 2010, ramet "b" initiated spring leaf phenology slightly earlier than ramets "a" and "c", but all three ramets progressed through phenophases relatively synchronously. Bootstrap analysis for phase 3 in that year confirmed no statistically significant differences between any of the ramet pairs.

In 2011, more pronounced divergence was observed. Ramet

"b" entered budburst earlier than both ramets "a" and "c", and ramet "a" lagged noticeably behind. These differences were statistically confirmed: bootstrap analysis revealed a significant difference between ramets "b" and "c" ($p < 0.001$), while differences between ramets "a" and "b", and "a" and "c", were not significant.

In 2013, all three ramets initiated spring phenology in a relatively synchronized manner; however, ramet "a" exhibited a slower progression of phenophases, indicating a generally slower developmental dynamic compared to the others.

In 2014, ramet "b" initiated spring phenology earlier than both ramets "a" and "c". Bootstrap analysis confirmed a statistically significant difference in the onset timing between ramets "b" and "c", indicating an earlier development in ramet "b".

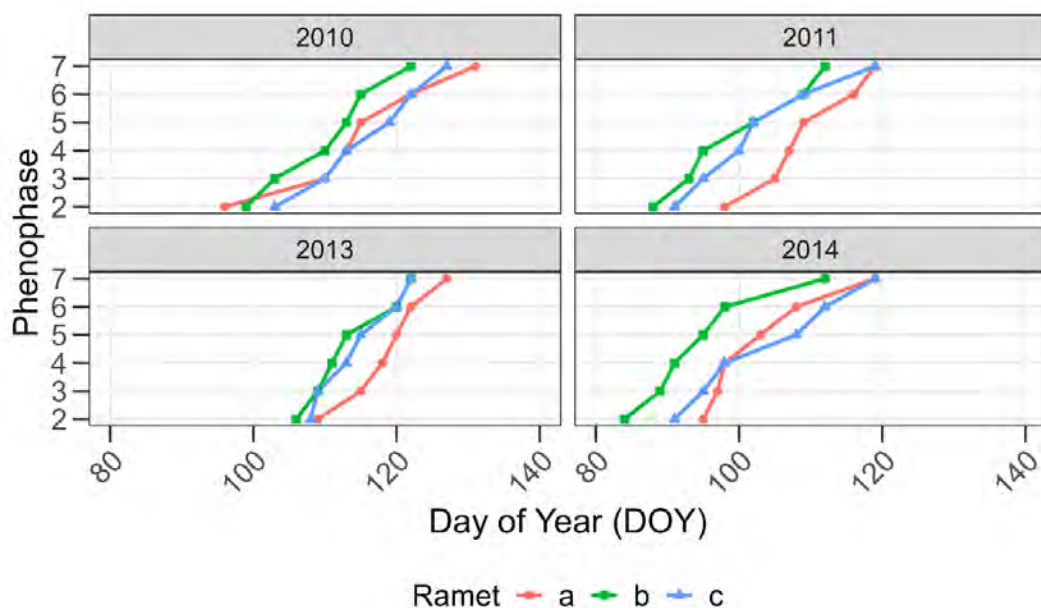


Figure 2 Phenological development of ramets "a", "b", and "c" of clone BJ 39 across four years (2010, 2011, 2013, and 2014). The y-axis represents phenophase values (phases 2–7), while the x-axis shows the day of the year (DOY). Although the general trend of development is similar, the timing and rate of progression vary between ramets and years, indicating intra-clonal variability in phenological dynamics.

Dynamics of Spring Leaf Development in Clone NA 02

The progression of spring leaf phenological phases was monitored in three ramets (a, b, and c) of clone NA 02 over four growing seasons: 2010, 2011, 2013, and 2014. Clone NA 02 was selected as a representative example to illustrate intra-clonal variation among the clones analyzed in the study. Visual analysis of phenological curves revealed consistent differences in the onset and progression of development among the ramets (Figure 3).

Particular focus was placed on phenophase 3 (budburst), which marks the visible opening of buds and the initiation of leaf development. In all analyzed years, ramet "a" consistently entered this phase earlier than ramets "b" and "c", while ramet "b" was generally the latest to initiate and complete leaf development.

To assess these differences statistically, bootstrap analysis was performed specifically for phase 3. The results confirmed significant differences between ramets "a" and "b" in 2010 ($p = 0.009$) and 2011 ($p < 0.001$), as well as between ramets "a" and "c" in 2011 ($p = 0.033$). In 2013, although visual differences appeared subtle, statistical analysis revealed that significant differences existed between ramets "a" and "b" and between ramets "a" and "c", while the difference between ramets "b" and "c" was not significant. In 2014, phenological divergence reappeared, with significant differences confirmed between ramets "a" and "b" ($p < 0.001$) and "a" and "c", while again, no significant difference was observed between ramets "b" and "c".

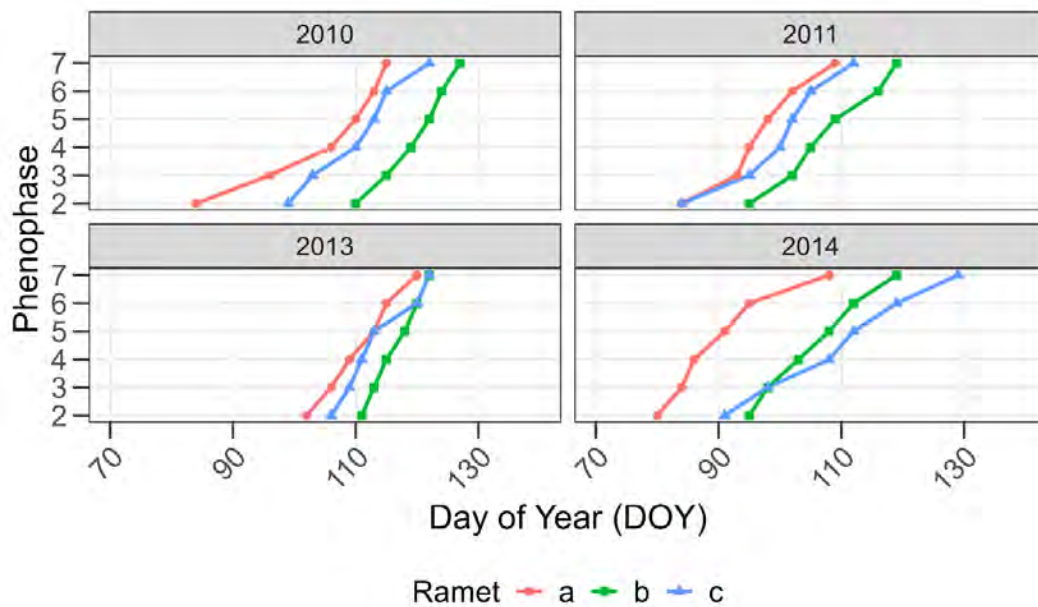


Figure 3 Phenological development of ramets “a”, “b”, and “c” of clone NA 02 across four years (2010, 2011, 2013, and 2014). The y-axis represents phenophase values (phases 2–7), while the x-axis shows the day of the year (DOY). Although the general trend of development is similar, the timing and rate of progression vary between ramets and years, indicating intra-clonal variability in phenological dynamics.

Temperature Data and Biological Threshold Determination

The data presented in Figure 4 illustrate the temporal dynamics of five distinct years over a three-month period from late January to late April.

The year 2010 began with temperatures slightly above freezing in early February. This was followed by a brief cooling period and then a gradual warming trend, marked by relatively low variability. The transition to spring conditions was steady and consistent, though less pronounced than in the following years.

The year 2011 started with moderate temperatures but was marked by a highly unstable March, characterized by fre-

quent shifts between warm and cold spells. The warming trend emerged later in the season and became stable only toward the end of April.

The year 2012 featured the coldest start of all the years analyzed, with the lowest temperature recorded in early February (Figures 4 and 5). A noticeable increase in temperature followed; however, the pattern remained highly variable, with repeated alternations between warm and cold periods. Notably, on 10 April 2012, a late spring frost was recorded (Figure 5), which negatively affected ramets that were in phenophase 4 or beyond. Although meteorological station data recorded a frost event on 2 April 2012, no visible impact was observed on the ramets in the experimental trial.

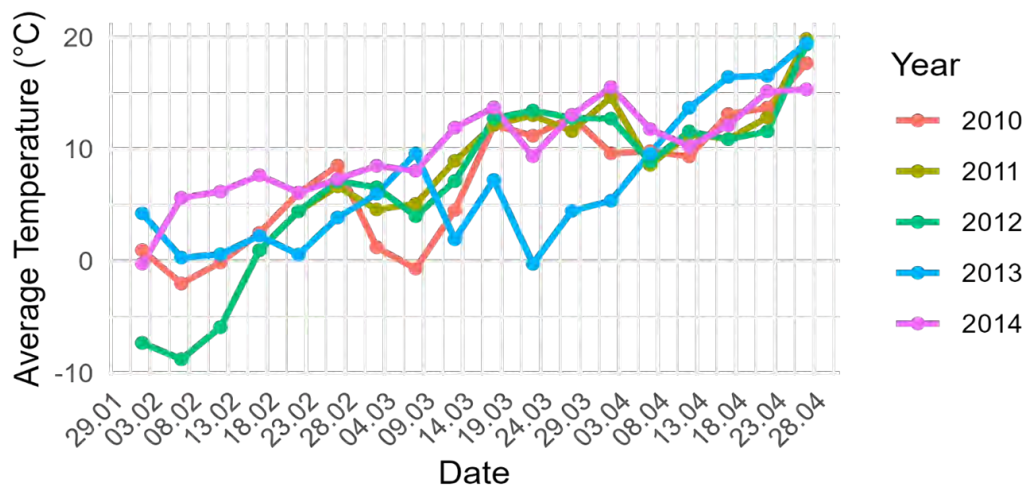


Figure 4 Five-day mean air temperatures (°C) recorded between 29 January and 28 April for five different years (2010–2014). Data were obtained from the Maksimir meteorological station and illustrate interannual variation in early spring temperature.

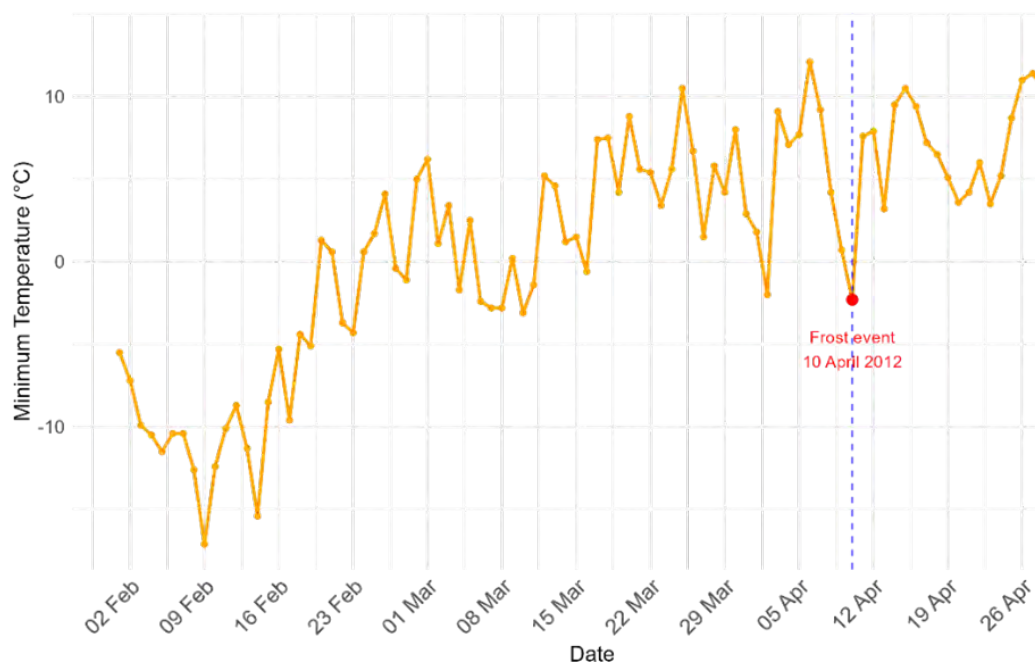


Figure 5 Daily minimum air temperatures (°C) recorded from 1 February to 30 April 2012, based on data from the Maksimir meteorological station. A significant drop in temperature was observed on 10 April 2012, indicating a late spring frost event.

The year 2013 began with temperatures near zero and exhibited considerable variability throughout March, including alternating drops and surges in temperature. Stable and warmer conditions were only recorded from mid- to late April.

The year 2014 showed a stable and gradual warming trend from the beginning of the observation period. However, noticeable cooling periods occurred in mid-March and again from early to mid-April. These cooler phases introduced a degree of instability, precisely during the period when increased budburst activity would typically be expected.

Intra-clonal Variability in Budburst Timing Across Years

The within-clone variability in the timing of budburst (phenophase 3) was assessed by calculating the range between the earliest and latest ramet transition dates for each clone (Table 1).

In 2013, clones exhibited the highest degree of synchronization, with an average within-clone range of only 3.34 days and a maximum of 7 days. This was further supported by the fact that only 41.9% of clones had a range equal to or greater than three days, indicating limited intra-clonal asynchrony. In contrast, the year 2010 showed the highest variability, with a mean range of 6.31 days and a maximum of 19 days; 79.1% of clones exhibited a range of ≥ 3 days. Similarly, 2014 also showed considerable asynchrony (mean = 5.71 days; max = 16 days), with 72.1% of clones exceeding the 3-day threshold. The year 2011 displayed intermediate variability, with 46.5% of clones falling into this category (Figure 6). These results highlight substantial interannual differences in phenological coherence within clones, likely influenced by varying environmental conditions.

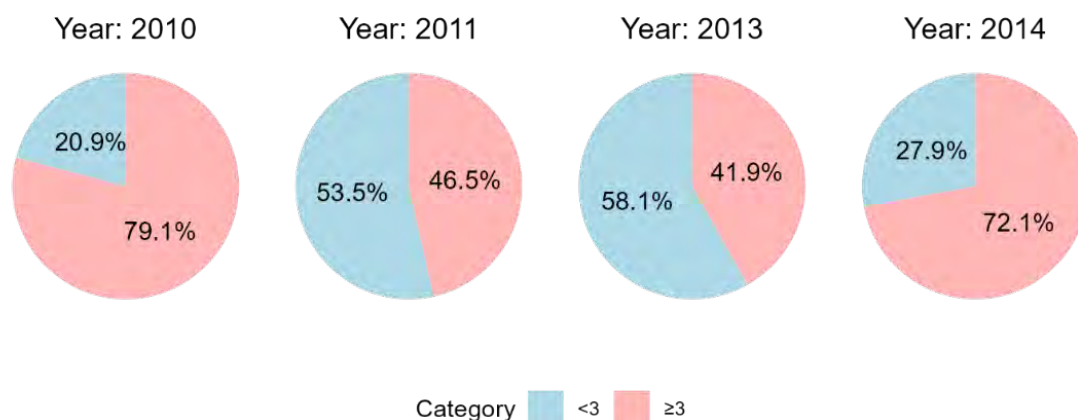


Figure 6 Distribution of clones with fewer than 3 days (<3, blue) and 3 or more days (≥ 3 , pink) of intra-clonal variability in budburst across four years. Each pie chart shows the percentage of clones in each category for the years 2010, 2011, 2013, and 2014. The majority of clones exhibited higher within-clone variability (≥ 3 days) in 2010 and 2014, while in 2011 and 2013 the proportion of clones with lower variability (<3 days) was higher or more balanced.

Table 1 Intra-clonal variability in the timing of budburst (phenophase 3) across four study years (2010, 2011, 2013, and 2014) for each clone. Values represent the range (in days) between the earliest (MIN) and latest ramet (MAX) to reach phase 3 within the same clone, indicating the degree of intra-clonal synchrony. A greater range suggests lower synchrony (i.e., greater asynchrony) among ramets. A difference of three days or more was considered potentially significant.

Clone	2010				2011				2013				2014			
	mean	min	max	range	mean	min	max	range	mean	min	max	range	mean	min	max	range
BJ04	99.00	99	99	0	93.67	93	95	2	108.67	108	109	1	84.67	84	86	2
BJ05	109.33	103	115	12	106.33	105	109	4	115.67	113	117	4	99.67	98	103	5
BJ07	115.67	114	117	3	101.33	100	102	2	113.00	113	113	0	98.00	98	98	0
BJ18	114.00	110	118	8	109.33	105	114	9	116.33	115	117	2	106.00	98	112	14
BJ21	106.33	103	110	7	100.00	98	102	4	111.67	111	113	2	93.67	91	95	4
BJ25	100.33	99	103	4	94.67	93	98	5	108.33	108	109	1	82.00	80	84	4
BJ28	116.67	116	117	1	112.00	112	112	0	118.67	118	120	2	99.67	98	103	5
BJ29	96.67	92	99	7	94.33	93	95	2	108.67	106	111	5	88.00	84	91	7
BJ34	99.33	96	103	7	96.67	93	102	9	109.33	106	111	5	87.00	84	91	7
BJ39	107.67	103	110	7	97.67	93	105	12	111.00	109	115	6	93.67	89	97	8
BJ41	98.00	92	103	11	94.33	93	95	2	107.67	106	109	3	85.67	84	89	5
BJ46	118.00	115	122	7	113.67	113	113	0	123.00	122	125	3	110.67	108	112	4
BJ 50	108.67	106	110	4	93.67	93	95	2	108.67	108	109	1	84.67	82	86	4
NA01	101.67	96	110	14	91.33	88	95	7	107.67	106	111	5	83.67	80	91	11
NA02	104.67	96	115	19	96.67	93	102	9	109.33	106	113	7	93.33	84	98	14
NA04	92.00	92	92	0	88.00	88	88	0	103.67	102	106	4	80.00	80	80	0
NA05	99.33	96	103	7	93.67	91	97	6	107.67	106	109	3	84.33	80	89	9
NA08	97.00	96	99	3	92.67	92	92	0	106.67	106	108	2	84.67	84	86	2
NA09	93.33	92	96	4	92.33	91	95	4	106.00	106	106	0	81.33	80	84	4
NA12	93.67	89	96	7	91.00	91	91	0	105.33	104	106	2	81.00	79	84	5
NA15	98.00	96	99	3	93.00	93	93	0	107.00	106	109	3	83.33	82	84	2
NA16	95.67	92	103	11	93.00	91	95	4	106.67	106	108	2	82.67	80	84	4
NA17	93.33	89	99	10	94.67	93	98	5	108.33	106	113	7	87.67	82	97	15
NA19	98.33	96	103	7	92.33	91	93	2	109.00	109	109	0	84.67	84	86	2
NA20	93.33	92	96	4	91.67	91	93	2	106.00	106	106	0	81.67	77	84	7
NA23	93.00	91	96	5	90.00	88	91	3	108.33	106	113	7	84.67	79	95	16
NA28	99.33	96	103	7	92.33	91	93	2	107.67	106	109	3	84.00	84	84	0
NA29	95.67	92	99	7	93.00	91	95	4	107.67	106	109	3	84.00	84	84	0
NA38	93.33	89	99	10	88.67	88	90	2	104.67	104	106	2	77.00	77	77	0
NA40	99.00	99	99	0	92.33	91	93	2	107.33	106	108	2	84.00	82	86	4
VK04	93.33	92	96	4	90.00	88	91	3	105.33	104	106	2	78.00	77	80	3
VK09	122.00	122	122	0	114.67	112	116	4	121.33	120	122	2	114.00	112	115	3
VK11	115.67	115	118	3	106.33	105	107	2	116.00	115	118	3	103.00	98	108	10
VK16	111.67	110	115	5	110.00	109	112	3	117.33	117	118	1	102.33	102	103	1
VK18	98.00	96	99	3	93.67	93	95	2	108.33	108	109	1	82.67	80	84	4
VK20	104.00	99	110	11	93.00	93	93	0	109.00	109	109	0	85.67	84	89	5
VK29	92.00	92	92	0	91.33	88	95	7	106.00	106	106	0	80.33	79	82	3
VK31	106.00	106	106	0	109.00	109	109	1	116.67	116	117	1	100.00	98	103	5
VK34	113.67	113	115	2	112.00	112	112	0	117.67	117	118	1	102.33	102	103	1
VK38	92.00	92	92	0	86.67	86	88	2	103.67	102	106	4	78.67	77	80	3
VK40	116.33	113	119	6	107.67	102	112	10	115.33	111	118	7	103.00	98	108	10
VK43	93.33	92	96	4	91.00	91	91	0	105.33	104	106	2	77.00	77	77	0
VK56	101.67	92	110	18	96.67	93	102	9	109.67	109	111	2	90.00	86	95	9

Frost Avoidance as an Outcome of Intra-clonal Phenological Variability

Table 2 presents the timing of phenophase 4 in ramets of oak clones that experienced frost damage in spring 2012, compared to ramets of the same clones that survived without

visible damage. In all cases, frost-damaged ramets reached phenophase 4 earlier than the frost-surviving ramets of the same clone. This finding indicates that early budburst resulted in an earlier onset of phenophase 4, which significantly increased susceptibility to the late spring frost that occurred on 10 April 2012.

Table 2 Comparison of phenophase 4 between frost-damaged and frost-surviving ramets across clones in which at least one ramet experienced frost damage. The table presents the dates on which each ramet reached phenophase 4, along with the difference in days between damaged and surviving ramets within the same clone. Ramets within each clone are labeled as "a", "b", and "c".

Clone	Frost-damaged Ramet	Frost-survived Ramet	Phenophase 4 (damaged ramet)	Phenophase 4 (survived ramet)	Difference (days)
BJ 25	b	a	2012-04-10	2012-04-13	3.0
BJ 25	c	a	2012-04-10	2012-04-13	3.0
BJ 29	b	a	2012-04-10	2012-04-13	3.0
BJ 29	b	c	2012-04-10	2012-04-13	3.0
BJ 41	b	a	2012-04-06	2012-04-13	6.5
BJ 41	c	a	2012-04-06	2012-04-13	6.5
BJ 50	c	a	2012-04-03	2012-04-17	14.0
BJ 50	c	b	2012-04-03	2012-04-13	10.0
NA 02	a	b	2012-04-06	2012-04-27	20.5
NA 02	c	b	2012-04-10	2012-04-27	17.0
NA 08	a	c	2012-04-06	2012-04-24	17.5
NA 08	b	c	2012-04-10	2012-04-24	14.0
NA 16	b	a	2012-04-06	2012-04-13	6.5
NA 16	c	a	2012-04-10	2012-04-13	3.0
NA 19	b	a	2012-04-10	2012-04-13	3.0
NA 19	c	a	2012-04-10	2012-04-13	3.0
NA 20	a	c	2012-03-30	2012-04-20	21.0
NA 20	b	c	2012-04-10	2012-04-20	10.0
NA 23	b	a	2012-03-30	2012-04-20	21.0
NA 23	c	a	2012-04-10	2012-04-20	10.0

The differences in phenophase timing between damaged and surviving ramets varied considerably across clones, ranging from 3.0 to 21.0 days. Minimal differences (3.0–6.5 days) were observed in clones BJ 25, BJ 29, BJ 41, NA 16, and NA 19, suggesting that although these clones initiated budburst early, the phenological gap between damaged and surviving ramets was relatively small—yet still sufficient to prevent frost damage in the surviving ramets. In contrast, clones BJ 50, NA 02, NA 08, NA 20, and NA 23 exhibited much larger differences, ranging from 10.0 to 21.0 days.

The most extreme case was observed in clone NA 20, where phenophase 4 in damaged ramets occurred on 30 March, while the surviving ramets reached the same phase on 20 April, resulting in a 21-day delay. These findings clearly demonstrate that ramets with earlier budburst were more susceptible to frost damage, and that a delay of three or more days in reaching phenophase 4 was sufficient to prevent such damage.

Figure 7 illustrates the relationship between spring leaf phenology and minimum daily temperature in three ramets of the BJ 25 clone during the spring of 2012. On 10 April 2012, a late spring frost occurred, with minimum temperatures dropping to -2.3°C . At that time, two ramets ("b" and "c") had already reached phenophase 4 or higher. After the frost event, both exhibited a temporary shift from phase 4 back to phase 2, indicating frost damage to the developing buds and partial loss of newly expanded tissues. Because leaves at advanced developmental stages were destroyed, the trees subsequently initiated renewed leaf growth and were later recorded at lower phenological phases. In contrast, ramet "a" (green line) exhibited slower development, reaching only phase 3 (budburst) at the time of the frost, and showed no signs of damage thereafter. This pattern, shown in Figure 7, illustrates how earlier budburst increased frost exposure risk and led to a phenological setback in the more advanced ramets.

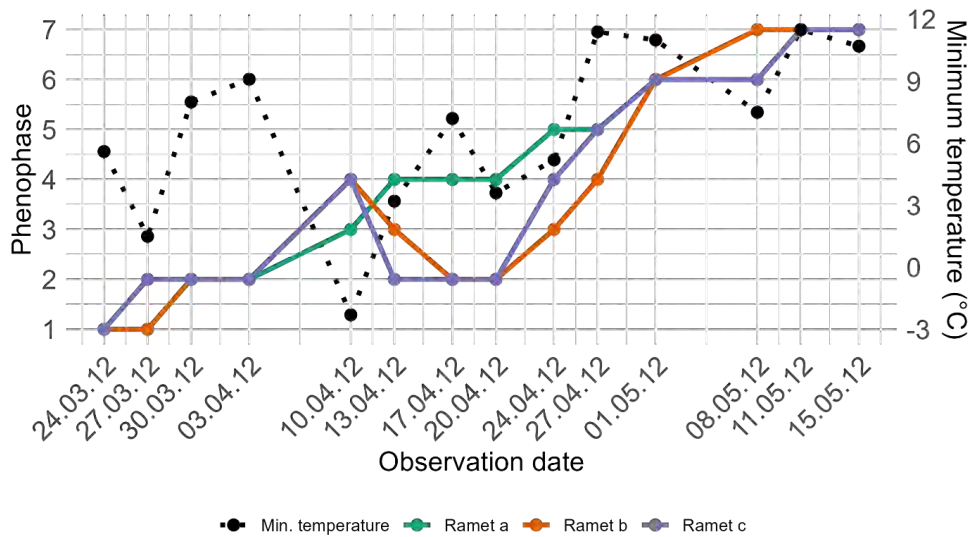


Figure 7 The relationship between spring leaf phenology and minimum daily temperature in three ramets of the BJ 25 clone during the spring of 2012. The graph shows the phenological development stages of three ramets (“a,” “b,” and “c”) of the BJ 25 clone over time, plotted against daily minimum temperature (black line, right y-axis). A late frost event occurred around 10 April, when minimum temperatures dropped below 0°C. Ramets that had already reached or exceeded phenophase 4 by this date (notably ramets “b” and “c”) were damaged by frost, highlighting the impact of early budburst on vulnerability to late spring frosts.

DISCUSSION

Intra-clonal Variability in Spring Leaf Phenology

The bootstrap analysis of intra-clonal variability in spring leaf phenology provided an additional statistical perspective on the degree of synchronization among genetically identical ramets across multiple years. While the majority of clones did not exhibit statistically significant differences among ramets, several clones showed clear intra-clonal asynchrony, indicating that temporal variation in budburst can occur even within a single genetic background.

These findings complement the descriptive analysis (Table 1, Figure 6), which captures the range of phenological variation and highlights biologically meaningful differences which may not reach statistical significance. For example, in clone NA 02, graphical analyses of phenological phase dynamics across three ramets over four years consistently revealed a lack of synchronization (Figure 3). The bootstrap test detected statistically significant differences between ramets “a” and “b” in all years except 2013, and further inspection of phenophase 3 onset showed that ramet “a” consistently flushed about seven days earlier than ramet “b”, indicating a difference that is both consistent and biologically relevant.

Taken together, these results show that the bootstrap and descriptive analyses address different but complementary aspects of intra-clonal variability, providing both statistical and biological perspectives on phenological divergence among ramets.

Similarly, if we observe clone BJ 39 (Figure 2), we can see that although all three ramets belong to the same clone, the data clearly demonstrate variability in the timing and dynamics of spring phenophase progression. Throughout all observed years, the ramets of clone BJ 39 exhibited overall consistent

phenological patterns, yet with notable differences among individual ramets. Ramet “b” consistently emerged as the earliest to initiate spring development, regularly reaching budburst and leaf expansion stages ahead of the others. In contrast, ramet “a” showed a clear tendency toward delayed phenological onset, with a slower progression through developmental stages in certain years. This phenological asynchronization among ramets of the same clone may be partly explained by a potential interaction between the rootstock and scion, which could influence the onset of phenological activity.

Such interactions have not been frequently reported in forest tree species; however, there are studies on certain fruit crops that provide relevant insights. For example, Wang et al. (1994) demonstrated that rootstocks significantly influence the spring phenology of ‘Hayward’ kiwifruit, as reflected by notable differences in the timing, synchrony, and magnitude of budburst, with direct implications for subsequent flowering intensity.

Other researchers suggest that shifts in flushing phenology and vegetative growth at the start of the growing season may result from a phenological mismatch between the rootstock and the scion. For instance, the results of the study by Clearwater et al. (2007) clearly indicate that the rootstock can affect the phenology of the scion through differences in the timing of spring root pressure development. High-vigour rootstocks developed positive root pressure before or during scion budburst, enabling uninterrupted shoot growth without signs of water stress. In contrast, low-vigour rootstocks developed root pressure only after shoot growth had already commenced, during which scions exhibited more pronounced water stress and reduced growth. Recent findings by Camisón et al. (2021) show that in chestnut (*Castanea sativa* Mill.), rootstock origin significantly affects scion budburst. Scions grafted onto drought-adapted (xe-

ric) rootstocks flushed earlier than those on humid-origin rootstocks, likely due to differences in hormone signaling and water transport. The study also found that grafting itself can delay budbreak, suggesting that both rootstock genotype and grafting effects can alter phenological timing and contribute to asynchronization among genetically identical ramets. The study demonstrated that in apple trees with upright-narrow (UN) scions, bud break occurred earlier on M.7 and M.9 rootstocks (3.7 days) compared to MM.111 and seedling rootstocks (8.8 days), confirming that rootstock can influence the budbreak phenology of apple scions. Although Tworowski et al. (2016) did not directly monitor leaf-out phenology, their results indicate a connection between rootstock response to drought stress and its influence on scion physiology. They demonstrated that ABA concentrations in scion leaves varied depending on the rootstock, suggesting that distinct patterns of root-derived hormonal signaling can modulate scion responses. This variability in rootstock reaction to environmental conditions highlights the importance of rootstock as a factor in the plant's overall adaptation to stress.

Intra-annual Variation in Budburst: the Roles of Temperature Sensitivity and Rootstock–scion Interactions

When examining the range of budburst within the same clone, it becomes evident that this range varies notably from year to year (Table 2). Such variability can be attributed primarily to differences in weather conditions, particularly temperature fluctuations between seasons. A comparison between spring temperature trends (Figure 4) and budburst phenology reveals a strong association between thermal conditions and both the timing and synchrony of budburst across oak clones. Although the exact physiological mechanisms regulating leaf emergence are not fully understood for most plant species, it is well established that temperature plays a key role in leaf development (Linkosalo et al. 2006). This sensitivity to temperature results in considerable interannual variability in the onset of spring phenology (Polgar and Primack 2011).

In 2010, an initially warm early season was followed by a cold spell, with stable temperatures above 10°C occurring only from mid- to late April. That year recorded the highest intra-clonal variability in budburst timing, with a mean range of 6.31 days and a maximum of 19 days. Moreover, 2010 had the largest proportion of clones (79.1%) exhibiting a spread of three or more days between ramets, indicating a pronounced lack of synchrony in budburst among genetically identical individuals. This asynchrony likely resulted from insufficient thermal accumulation early in the season and from differences in the timing at which individual ramets reached their required cumulative temperature thresholds.

Since it is well known that flushing in deciduous forest trees is regulated by genetic mechanisms that define how individuals respond to temperature cues (Derory et al. 2006, Vitasse et al. 2010), several studies have demonstrated that the temperature thresholds required to trigger budburst are genetically controlled (Kramer 1995, Rousi and Pusenius 2005, Körner and Basler 2010, Basler and Körner 2012). The genetic response to rising temperatures may explain the significant variation in budburst timing observed among clones across years (Table 1).

However, the question arises as to why such differences also occur between ramets of the same clone. Given that environmental conditions were uniform across the experimental plot, it is reasonable to assume that this variability arises from interactions between the rootstock and scion. As previously noted, different genotypes can have distinct temperature thresholds (Vitasse et al. 2009, 2010). Since rootstocks were grown from seed and thus genetically different, they may possess varying sensitivities to temperature cues, leading some to trigger budburst in the scion earlier, while others may delay it.

This is particularly plausible in years such as 2010 and 2014, when warm and cold periods alternated over a longer duration, and warming progressed slowly. In such years, it is likely that some rootstocks reached their temperature thresholds earlier, especially those with a faster physiological response to warming. Consequently, greater intra-clonal variability was observed. By contrast, in years when the early season was dominated by low temperatures followed by a rapid warming event, such as in 2011 or 2013, intra-clonal differences in budburst were smaller. The more synchronized thermal signal may have aligned the temperature response thresholds across ramets, minimizing budburst variation.

Interaction Between Intra-clonal Phenological Variability and Frost Susceptibility

Our findings suggest that variability in phenological timing among ramets within the same clone—referred to as intra-clonal phenological asynchronization—may enhance a clone's ability to cope with climatic stressors, particularly late spring frosts. Slower developing ramets are less likely to be affected by low temperatures, thereby increasing the overall frost resilience of the clone. An early flushing strategy can be advantageous by enabling rapid early-season growth and a longer growing period; however, it also increases the risk of frost damage (Vitasse and Rebetez 2018). Foliage loss caused by late spring frost represents a major stress factor for deciduous trees, as it disrupts nutrient allocation, compromises growth and reproduction, and impairs canopy development (Vitasse et al. 2014). Although oaks exhibit a strong ability to regenerate foliage, this compensatory response is energetically costly and shortens the growing season, ultimately diminishing their net annual productivity (Vitasse et al. 2014, Baumgarten et al. 2023). In addition, it is important to highlight that the newly flushed leaves produced during refoliation often coincide with elevated levels of powdery mildew inoculum, and since environmental conditions during this period are generally favorable for fungal development, trees become highly susceptible to severe foliar infections (Marçais et al. 2009).

While ramets in phenophase 3—defined as budburst (widely spaced bud scales and visible green leaf tips)—showed no visible damage, those in phenophase 4 (folded leaf visible) exhibited significant injury, as clearly demonstrated by clone BJ 25 (Figure 7). All ramets that had reached phenophase 4 on the day of the frost event displayed clear symptoms of frost damage, highlighting the increased susceptibility of more advanced phenological phases. This supports previous research indicating that early-flushing genotypes are more vulnerable to spring frost (Utkina and Rubtsov 2017).

In the establishment of clonal seed orchards intended for the production of high-quality forest reproductive material, hetero-vegetative propagation is commonly applied. Therefore, beyond the selection of the scion, it is essential to consider the phenotypic and physiological traits of the rootstock to prevent phenological asynchrony between graft components. This approach aligns with strategies already utilized in agronomy for frost mitigation. A relevant example comes from fruit production, where Durner and Goffreda (1992) demonstrated that the choice of rootstock in peach significantly affects both the timing and rate of flower bud development. Their study showed that certain rootstocks can delay blooming, thereby reducing the risk of frost damage and enhancing yield. Importantly, they emphasized that even a delay of just one to two days in specific bud development stages can markedly reduce frost injury. These findings underscore the biological importance of fine-scale phenological control, the principles that are equally applicable when designing clonal forestry systems where frost sensitivity is a limiting factor.

These findings directly support the biological threshold applied in our research, where a difference of three days in budburst among ramets was considered meaningful. This underlines that even slight shifts in developmental timing—if strategically managed—can play a critical role in minimizing frost damage and ensuring the stability and productivity of clonal seed orchards. In addition, by selecting rootstocks, it may be possible to increase the phenological synchrony of clones in plantations, thereby contributing to an increase in their effective population size and overall productivity.

CONCLUSION

This study confirms that rootstocks can significantly influence intra-clonal variation in the spring phenology of pedunculate oak, despite the genetic uniformity of ramets. Grafting onto different rootstocks resulted in notable differences in budburst timing within clones, with up to 79.1% of clones in 2010 and 72.1% in 2014 exhibiting a budburst range of three or more days between ramets, indicating pronounced phenological asynchrony.

Importantly, even small delays in budburst (≥ 3 days) were associated with successful frost avoidance, suggesting that such intra-clonal asynchrony may enhance the ability of some ramets to escape frost events. Beyond their scientific implications, these findings provide practical guidance for the management of clonal seed orchards and nursery production. When establishing or renewing seed orchards, particular attention should be given to the selection of rootstocks with compatible phenological behavior to minimize asynchrony among ramets and enhance cross-pollination efficiency. In nurseries, monitoring and recording the phenological traits of potential rootstocks could serve as a useful criterion for selecting grafting material. Such an approach could improve both the stability of seed yields and the overall adaptability of orchard trees to variable environmental conditions, thereby supporting long-term, sustainable seed production.

REFERENCES

- Bačurin, M., S. Bogdan, I. Katičić Bogdan, K. Sever, 2023: Leaf phenological responses of juvenile beech and oak provenances to elevated phosphorus. *Forests* 14 (4): 834. <https://doi.org/10.3390/f14040834>
- Bačurin, M., I. Čehulić, I. Katičić Bogdan, S. Bogdan, 2025: The different timing of exposure to drought stress differentially affects phenology and growth in goat willow. *SEEFOR – South-east European forestry* 16 (2): 155–166. <https://doi.org/10.15177/seefor.25-17>
- Basler, D., C. Korner, 2014: Photoperiod and temperature responses of bud swelling and bud burst in four temperate forest tree species. *Tree Physiology* 34 (4): 377–388. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpu021>
- Basler, D., C. Korner, 2012: Photoperiod sensitivity of bud burst in 14 temperate forest tree species. *Agricultural and Forest Meteorology* 165: 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.06.001>
- Baumgarten, F., A. Gessler, Y. Vitasse, 2023: No risk—no fun: Penalty and recovery from spring frost damage in deciduous temperate trees. *Functional Ecology* 37 (3): 648–663. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.14243>
- Billington, H.L., J. Pelham, 1991: Genetic variation in the date of budburst in Scottish birch populations: implications for climate change. *Functional Ecology* 5 (3): 403–409. <https://doi.org/10.2307/2389812>
- Camisón, Á., M.Á. Martín, V. Flors, P. Sánchez-Bel, G. Pinto, M. Vivas, V. Rolo, A. Solla, 2021: Exploring the use of scions and rootstocks from xeric areas to improve drought tolerance in *Castanea sativa* Miller. *Environmental and Experimental Botany* 187: 104467. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104467>
- Clearwater, M., P. Blattmann, Z. Luo, R. Lowe, 2007: Control of scion vigour by kiwifruit rootstocks is correlated with spring root pressure phenology. *Journal of Experimental Botany* 58 (7): 1741–1751. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm029>
- Derory, J., P. Léger, V. Garcia, J. Schaeffer, M.T. Hauser, F. Salin, C. Luschign, C. Plomion, J. Glössl, A. Kremer, 2006: Transcriptome analysis of bud burst in sessile oak (*Quercus petraea*). *New Phytologist* 170 (4): 723–738. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01721.x>
- Durner, E.F., J.C. Goffreda, 1992: Rootstock-induced differences in flower bud phenology in peach. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 117 (5): 690–697. <https://doi.org/10.21273/JASHS.117.5.690>
- Franjić, J., K. Sever, S. Bogdan, Ž. Škvorc, D. Krstonošić, I. Alešković, 2011: Fenološka nejednačenost kao ograničavajući čimbenik uspješnoga oprašivanja u klonskim sjemenskim plantažama hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.). *Croatian Journal of Forest Engineering* 32 (1): 141–154. <https://hrcak.srce.hr/68072>
- Frewen, B.E., T.H.H. Chen, G.T. Howe, J. Davis, A. Rohde, W. Boerjan, H.D. Bradshaw, 2000: Quantitative trait loci and candidate gene mapping of bud set and bud flush in *Populus*. *Genetics* 154 (2): 837–845. <https://doi.org/10.1093/genetics/154.2.837>
- Gömöry, D., L. Paule, 2011: Trade-off between height growth and spring flushing in common beech (*Fagus sylvatica* L.). *Annals of Forest Science* 68 (5): 975–984. <https://doi.org/10.1007/s13595-011-0103-1>
- Haukioja, E., E. Pakarinen, P. Niemelä, L. Iso-livari, 1988: Crowding-triggered phenotypic responses alleviate consequences of crowding in *Epirrita autumnata* (Lep., Geometridae). *Oecologia* 75: 549–558. <https://doi.org/10.1007/BF00776419>
- Jayawickrama, K.J.S., J.B. Jett, S.E. McKeand, 1991: Rootstock effects in grafted conifers: A review. *New Forest* 5: 157–173. <https://doi.org/10.1007/BF00029306>
- Jiménez, S., A. Garín, Y. Gogorcena, J.A. Betrán, M.A. Moreno, 2004: Flower and foliar analysis for prognosis of sweet cherry nutrition: Influence of different rootstocks. *Journal of Plant Nutrition* 27 (4): 701–712. <https://doi.org/10.1081/PLN-120030376>
- Jiménez, S., J. Pinochet, J. Romero, Y. Gogorcena, M.A. Moreno, J.L. Espada, 2011: Performance of peach and plum based rootstocks of different vigour on a late peach cultivar in replant and calcareous conditions. *Scientia Horticulturae* 129 (1): 58–63. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.006>
- Kaitaniemi, P., K. Ruohomäki, E. Haukioja, 1997: Consequences of defoliation on phenological interaction between *Epirrita autumnata* and its host plant, mountain birch. *Functional Ecology* 11 (2): 199–208. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.1997.00063.x>

- Körner, C., D. Basler, 2010: Phenology under global warming. *Science* 327: 1461–1462. <https://doi.org/10.1126/science.1186473>
- Kramer, A.T., J.L. Ison, M.V. Ashley, H.F. Howe, 2008: The paradox of forest fragmentation genetics. *Conservation Biology* 22 (4): 878–885. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00944.x>
- Kramer, K., 1995: Phenotypic plasticity of the phenology of seven European tree species in relation to climatic warming. *Plant, Cell, and Environment* 18 (2): 93–104. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1995.tb00356.x>
- Leinonen, I., H. Hänninen, 2002: Adaptation of the timing of bud burst of Norway spruce to temperate and boreal climates. *Silva Fennica* 36 (3): 695–701. <https://doi.org/10.14214/sf.534>
- Linkosalo, T., R. Hakkinen, H. Hanninen, 2006: Models of the spring phenology of boreal and temperate trees: Is there something missing? *Tree Physiology* 26 (9): 1165–1172. <https://doi.org/10.1093/treephys/26.9.1165>
- Lockhart, J.A., 1983: Optimum growth initiation time for shoot buds of deciduous plants in a temperate climate. *Oecologia* 60: 34–37. <https://doi.org/10.1007/BF00379317>
- Marçais, B., M. Kavkova, M.L. Desprez-Loustau, 2009: Phenotypic variation in the phenology of ascospore production between European populations of oak powdery mildew. *Annals of Forest Science* 66: 814–814. <https://doi.org/10.1051/forest/2009077>
- Neilsen, D., G.H. Neilsen, T. Forge, G.A. Lang, 2016: Dwarfing rootstocks and training systems affect initial growth, cropping and nutrition in 'Skeena' sweet cherry. *Acta Horticulturae* 1130: 199–206. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1130.29>
- Polgar, C.A., R.B. Primack, 2011: Leaf-out phenology of temperate woody plants: from trees to ecosystems. *New Phytologist* 191 (4): 926–941. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03803.x>
- Robson, T.M., E. Rasztovits, P.J. Aphalo, R. Alía, I. Aranda, 2013: Flushing phenology and fitness of European beech (*Fagus sylvatica* L.) provenances from a trial in La Rioja, Spain, segregate according to their climate of origin. *Agricultural and Forest Meteorology* 180: 76–85. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.05.008>
- Rousi, M., J. Pusenius, 2005: Variations in phenology and growth of European white birch (*Betula pendula*) clones. *Tree Physiology* 25 (2): 201–210. <https://doi.org/10.1093/treephys/25.2.201>
- Scotti-Saintagne, C., C. Bodénès, T. Barreneche, E. Bertocchi, C. Plomion, A. Kremer (2004): Detection of quantitative trait loci controlling bud burst and height growth in *Quercus robur* L. *Theoretical and Applied Genetics* 109: 1648–1659. <https://doi.org/10.1007/s00122-004-1789-3>
- Tworzoski, T., G. Fazio, D.M. Glenn, 2016: Apple rootstock resistance to drought. *Scientia Horticulturae* 204: 70–78. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.047>
- Tworzoski, T., S. Miller, 2007: Rootstock effect on growth of apple scions with different growth habits. *Scientia Horticulturae* 111: 335–343. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.10.034>
- Utkina, I.A., V.V. Rubtsov, 2017: Studies of phenological forms of pedunculate oak. *Contemporary Problems of Ecology* 10 (7): 804–811. <https://doi.org/10.1134/S1995425517070101>
- Vander Mijnsbrugge, K., A. Turcsán, J. Maes, N. Duchêne, S. Meeus, K. Steppe, M. Steenackers, 2016: Repeated summer drought and re-watering during the first growing year of oak (*Quercus petraea*) delay autumn senescence and bud burst in the following spring. *Frontiers in Plant Science* 7: 419. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00419>
- Vidaković, M. 1996: Establishment of clonal seed orchard of pedunculate oak. In (Klepac, D., ed.): *Pedunculate oak (Quercus robur L.) in Croatia*. Croatian Academy of Sciences and Arts – Center for Scientific Work in Vinkovci, Vinkovci – Zagreb, pp. 127–138.
- Vitasse, Y., C.C. Bresson, A. Kremer, R. Michalet, S. Delzon, 2010: Quantifying phenological plasticity to temperature in two temperate tree species. *Functional Ecology* 24: 1211–1218. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2010.01748.x>
- Vitasse, Y., S. Delzon, E. Dufrêne, J.Y. Pontailier, J.M. Louvet, A. Kremer, R. Michalet, 2009: Leaf phenology sensitivity to temperature in European trees: Do within-species populations exhibit similar responses? *Agricultural and Forest Meteorology* 149 (5): 735–744. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.10.019>
- Vitasse, Y., A. Lenz, C. Körner, 2014: The interaction between freezing tolerance and phenology in temperate deciduous trees. *Frontiers in Plant Science* 5: 541. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00541>
- Vitasse, Y., M. Rebetez, 2018: Unprecedented risk of spring frost damage in Switzerland and Germany in 2017. *Climate Change* 149: 233–246. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2234-y>
- Wang, Z.Y., K.J. Patterson, K.S. Gould, R.G. Lowe, 1994: Rootstock effects on budburst and flowering in kiwifruit. *Scientia Horticulturae* 57 (3): 187–199. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(94\)90140-6](https://doi.org/10.1016/0304-4238(94)90140-6)
- Young, E., J. Houser, 1980: Influence of Siberian C rootstock on peach bloom delay, water potential, and pollen meiosis. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 105 (2): 242–245. <https://doi.org/10.21273/JASHS.105.2.242>
- Zohner, C.M., S.S. Renner, 2015: Perception of photoperiod in individual buds of mature trees regulates leaf-out. *New Phytologist* 208 (4): 1023–1030. <https://doi.org/10.1111/nph.13510>

Influence of the *Salix caprea* Genotype and Leaf Characteristics on the Occurrence of Fungus *Melampsora caprearum*

Aleksandar Vemić, Sanja Lazić, Aleksandar Lučić, Zlatan Radulović, Ljubinko Rakonjac, Snežana Stajić, Vladan Popović*

Institute of Forestry, Belgrade, Serbia

* Corresponding author: Vladan Popović, e-mail: vladanpop79@gmail.com

Abstract

Leaf rust caused by *Melampsora caprearum* is one of the most important but understudied diseases of goat willow (*Salix caprea*). This research studied for the first time the effect of genotype and the morphology of goat willow leaves on the occurrence and abundance of *Melampsora caprearum* uredinia. The genotype showed a statistically significant impact on the occurrence and abundance of uredinia on goat willow leaves. The morphological characteristics of the leaves, leaf area, leaf circumference, and length and width of the leaves had a statistically significant effect on the occurrence of uredinia, while they did not impact the uredinia abundance on the leaves. On the same tree, leaves of larger dimensions showed greater resistance to the occurrence of infection symptoms. Based on leaf morphology, the results represent a realistic basis for selecting goat willow trees less susceptible to *Melampsora caprearum*. Measures that can be applied in goat willow habitats to regulate leaf dimensions and reduce damage from *Melampsora caprearum* are discussed.

Keywords: willow rust, development, uredinial stage, protection strategies

DOI:
<https://doi.org/10.31298/sl.150.1-2.2>

How to Cite:

Vemić, A., S. Lazić, A. Lučić, Z. Radulović, Lj. Rakonjac, S. Stajić, V. Popović, 2026: Influence of the *Salix caprea* genotype and leaf characteristics on the occurrence of fungus *Melampsora caprearum*. Šumarski list 150 (1–2): 19–32. <https://doi.org/10.31298/sl.150.1-2.2>



This work is licensed under a Creative Commons
Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

INTRODUCTION

The genus *Salix* L. comprises about 600 species of shrubs and trees that grow in moist habitats (Cvjetičanin et al. 2016). Species from the genus *Salix* represent a valuable source of biologically active components widely used for various therapeutic purposes (Ramos et al. 2019, Tawfeek et al. 2021). Goat willow (*Salix caprea* L.) is a pioneer, fast-growing honey plant adaptable to different habitat conditions and able to extract heavy metals from the soil (Enescu et al. 2016). Lands populated by goat willow trees demonstrate enhanced water retention potential and moisture buffering capacity compared to fallow soils, indicating that goat willow positively influences hillside hydrology (Gonzalez-Olauri and Mickovski 2020).

Rust fungi (Pucciniomycotina, Pucciniales) constitute one of the most significant orders of fungi, accounting for about a quarter of the known Basidiomycota (Aime and McTaggart 2021). Rust fungi represent the most numerous plant pathogens, and many aspects of their biology remain unexplained (Lorrain et al. 2018). In certain parts of Europe, more than two hundred taxa of rust fungi have been recorded (Woods et al. 2015, Talhahas et al. 2019). The genus *Melampsora* was first described in 1843; it represents heteroxeny Basidiomycetes with a complete development cycle characterized by the formation of a crust of sessile, laterally adherent single-celled teliospores (Pei et al. 2005). The fungi from the genus *Melampsora* are among the most important pathogens in poplar plantations and short-rotation coppice systems. Several species of the genus *Melampsora* are found on *Salix* spp. in Europe (Ciszewska-Marciniak and Jędryczka 2011). Also, it is known that *Melampsora caprearum* (DC.) Thüm occurs on goat willow in urban green spaces (Stankevičienė 2018). Research in Central Europe has identified several species of the genus *Melampsora* that affect willow biomass production (Bubner et al. 2014). However, the bioecology of species of the genus *Melampsora* has not been sufficiently researched, particularly regarding hosts that are not used for broad commercial purposes but mainly have environmental value.

A higher-rang classification of the order Pucciniales must also include various aspects of the development of these organisms (Aime and McTaggart 2021). Climate change has led to an increased spread of rusts to higher elevations (Dudney et al. 2021). Ecological and basic biological studies of rust development are necessary to develop new control methods (Yamaoka 2014). The literature lacks data regarding the influence of the goat willow leaf morphology (*Salix caprea*) on the spread of *Melampsora caprearum*. Understanding this relationship will help maintain better health conditions for goat willow and reduce the spread of *Melampsora caprearum*, particularly in goat willow stands and protective belts in natural settings. This is especially important due to the additional threat to goat willow from leaf chewers, leaf miners, and gall inducers (Veselkin et al. 2019). Genotypes tolerating these threats can provide a valuable source of quality reproductive material. Accordingly, this study aimed to investigate the life cycle of *Melampsora caprearum* depending on the genotypes and the morphology of the goat willow leaves. The occurrence and abundance of uredinia as the phases of rust development that cause the most damage to the goat willow were investigated.

MATERIAL AND METHODS

Research Locality

The goat willow trees infected with rust *Melampsora caprearum* were sampled at Ivica Mountain in Montenegro (43°01'13"N, 19°08'30"E). The trees belonged to the longitudinal belt of goat willow next to the stream, without pronounced exposure, at an elevation of 1,373 meters above sea level. The distance between the trees was less than 1 meter. The source of the inoculum was a larch tree (*Larix decidua* Mill.) situated less than 500 meters away from the goat willow trees (43°01'09"N, 19°08'27"E). No other (secondary) hosts for other rust species that can occur on goat willow were noticed, so the occurrence of other rust species can be excluded.

Plant Material

Eleven goat willow genotypes aged 11 to 12 years were selected to analyze the morphology of leaves infected by *Melampsora caprearum*. The leaves were sampled in August 2023, when the infection period for the uredinal stage was over, and the uredinia were visible on the infected leaves. Uredinia were dark yellow and orange, 1–2 mm in size, primarily hypophyllous, while in terms of arrangement, they were scattered and aggregated. Urediniospores had a colorless cell wall; some were completely colorless, ovoid, and ellipsoid 14–20 × 12–15 µm in size (Figure 1). The cell wall was echinulate, which was less noticeable on some spores. The morphological characteristics of fruiting bodies and spores matched the description of Bagyanarayana (2005) and Pei (2005).

Due to the high tree density, trees were sampled at a 30 m distance to avoid collecting genetically identical trees. Each genotype represented a separate individual, that is, a genotypically different individual. Individuality was estimated based on the distance between sampled trees. A random sample of 20 leaves was taken from each tree at a height of 2 meters from the southwest side and the middle of the branch. The collected leaves were packed in plastic bags and stored in the refrigerator for 48 hours. The uredinia occurrence on the leaves, an indicator of the beginning of rust, and the uredinia abundance on the leaves, an indicator of the intensity of rust, were examined. The uredinia occurrence is defined as binary, based on the occurrence or absence of leaf rust. Afterward, the fungal uredinia were counted on the lower side of each leaf to determine their abundance. All the leaves were scanned, and their lamina length, width, circumference, and area were calculated using LAMINA software (Umea University) (see Table 1, Figure 1).

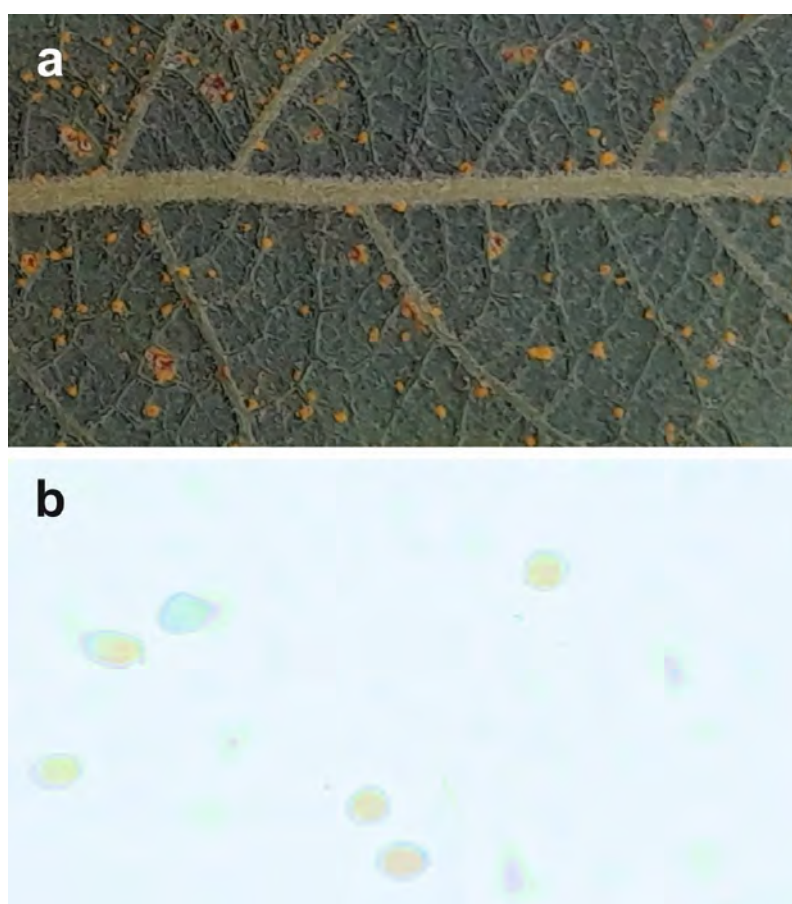
Statistical Methods

Binary logistic regression was used to examine how factors such as genotype, leaf length, width, circumference, and area influence the occurrence of uredinia.

A general linear model (GLM) was used to compare the abundance of uredinia depending on the same factors tested for the uredinia occurrence. The normality of the residuals for the general linear model was assessed using the Lilliefors-corrected Kolmogorov–Smirnov test. At the same time, the homogeneity and linearity were checked through the point scatter diagram. Fisher's least significant difference (LSD) post hoc test was used to compare the abundance of uredinia between goat willow genotypes.

Table 1 Leaf dimensions of the tested goat willow leaves.

Number of Trees	Area (mm ²)	Circumference (mm)	Leaf Width (mm)	Leaf Length (mm)
1	1986.1680 ± 1027.48	156.8930 ± 41.58	39.2195 ± 8.74	69.6220 ± 19.17
2	1857.6105 ± 566.31	159.6730 ± 33.74	38.6405 ± 5.50	67.9620 ± 13.70
3	1694.7970 ± 487.39	149.8365 ± 24.59	34.7420 ± 4.25	67.7735 ± 11.09
4	2309.7147 ± 774.83	172.2079 ± 35.61	42.7147 ± 7.14	75.4311 ± 15.32
5	1700.4610 ± 346.81	150.1135 ± 16.34	36.2895 ± 4.02	68.4530 ± 7.47
6	1846.6125 ± 308.57	151.6980 ± 14.78	39.1695 ± 3.80	66.2260 ± 6.15
7	2410.4360 ± 822.41	171.2705 ± 34.39	44.0260 ± 8.15	73.9495 ± 15.12
8	1576.7890 ± 313.24	145.1575 ± 14.54	34.5415 ± 4.25	64.3510 ± 6.40
9	1415.5765 ± 568.58	134.2135 ± 24.41	32.6535 ± 6.27	59.5105 ± 10.37
10	2467.7885 ± 1598.97	178.4155 ± 67.92	41.1080 ± 11.83	78.6025 ± 29.18
11	2209.8581 ± 806.59	176.3514 ± 34.15	40.0243 ± 7.31	77.8781 ± 14.85

**Figure 1** Uredinia and urediniospores of *Melampsora caprearum*.

RESULTS

Uredinia Occurrence on the Goat Willow Leaves

Infected leaves showed apparent symptoms in the form of yellow spots on the upper side and necrotic spots on one or both sides of the leaf (Figure 2). Abundant uredinia were found on the lower side of the leaves (Figure 2). Nevertheless, the binary logistic regression showed a statistically significant influence of the goat willow genotype, as well

as the leaf's area, circumference, length, and width on the uredinia occurrence caused by *Melampsora caprearum* (Table 2, Figure 2, Figure 3). The odds ratio in binary logistic regression shows that different genotypes influence a higher or lower probability of the uredinia occurrence. According to the odds ratio from the binary logistic regression, an increase in leaf dimensions corresponds to a lower likelihood of symptoms caused by *Melampsora caprearum*, indicating a reduced probability of uredinia occurrence (Figure 3).

Table 2 Influence of the goat willow genotype and leaf dimensions on the occurrence of the *Melampsora caprearum* uredinia.

Source	Wald Chi-square	Type III df	p
Genotype	21.334	10	0.019
Leaf area	4.776	1	0.029
Leaf circumference	11.274	1	< 0.001
Leaf width	19.350	1	< 0.001
Leaf length	14.038	1	< 0.001

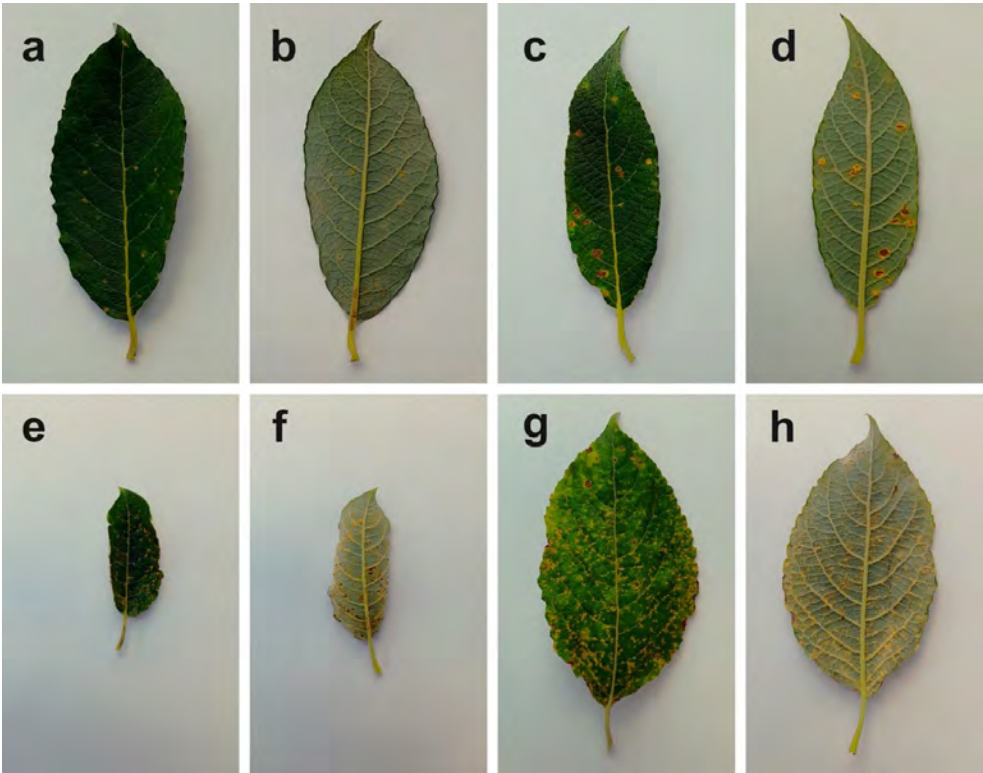


Figure 2 Damage to goat willow leaves (*Salix caprea*) caused by *Melampsora caprearum*; a – symptoms on the upper face of the leaf on less susceptible trees; b – the abundance of uredinia on the lower face of the leaf on less susceptible trees; c,e – symptoms on the upper face of the leaf on middle susceptible trees; d,f – the abundance of uredinia on the lower face of the leaf on middle susceptible trees; g – symptoms on the upper face of the leaf on sensitive trees; h – the abundance of uredinia on the lower face of the leaf on sensitive trees.

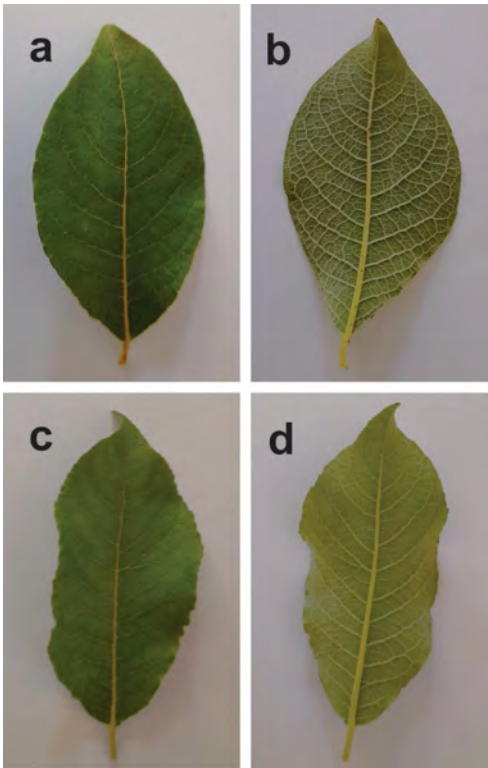


Figure 3 Resistant goat willow leaves (*Salix caprea*) without rust symptoms.

Uredinia Abundance on the Goat Willow Leaves

A statistically significant difference was observed in the number of *Melampsora caprearum* uredinia between different goat willow genotypes based on GLM results (Table 3, Figure 2, Figure 4). The lowest number of *Melampsora caprearum* uredinia on leaves was present on individual trees, with a prevalence of 9.09% (Figure 2 a–b, Figure 4, Figure 5). Also, the highest number of uredinia appeared in the same

percentage of trees, again at 9.09% (Figure 2 g–h, Figure 4, Figure 5). The remaining 81.82% of trees were in the range between the highest and lowest sensitivity (Figure 2 c–d, Figure 2 e–f, Figure 4, Figure 5). However, leaf area, circumference, length, and width did not affect the abundance of uredinia based on GLM results (Table 3). This indicates that leaves of different dimensions showed a similar number of uredinia (Figure 2 d, f).

Table 3 Influence of the goat willow genotype and leaf dimensions on the abundance of the *Melampsora caprearum* uredinia.

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Genotype	23755.738	10	2375.574	2.216	0.026
Leaf area	500.755	1	500.755	0.467	0.497
Leaf circumference	53.641	1	53.641	0.050	0.824
Leaf width	2188.638	1	2188.638	2.042	0.157
Leaf length	21.201	1	21.201	0.020	0.889

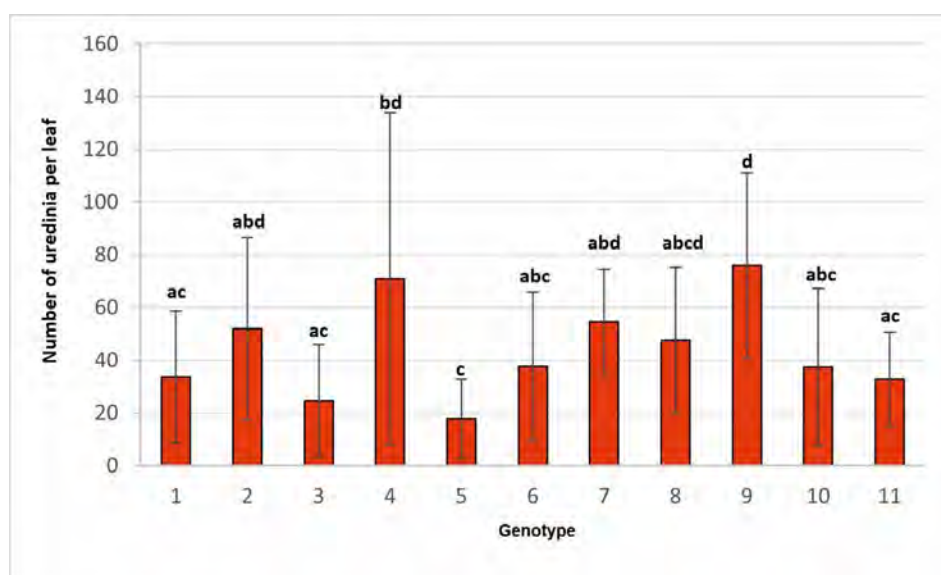


Figure 4 The abundance of uredinia on different goat willow genotypes.

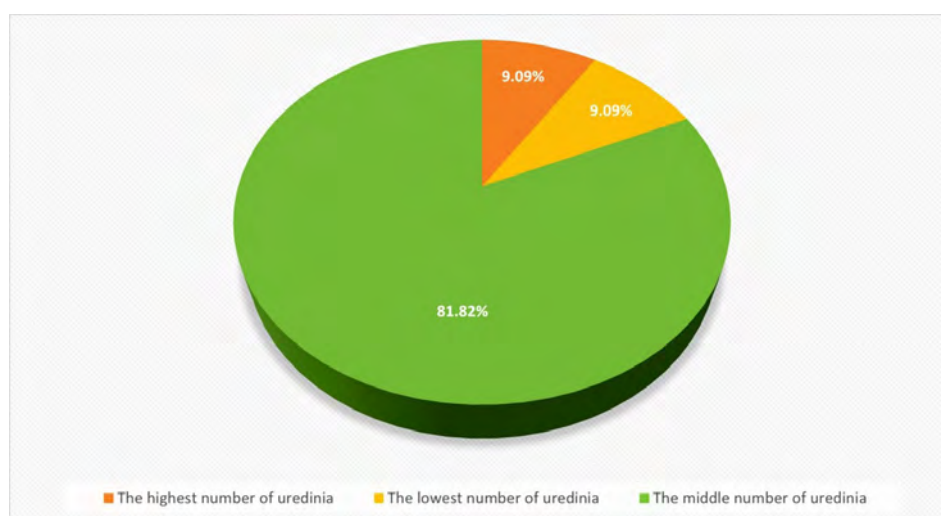


Figure 5 The percentage of goat willow trees with different uredinia abundance.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Tree breeding and genomics development enable new rust control strategies worldwide (Hamelin 2022). This study showed a significant influence of various factors such as genotype, leaf length, width, circumference, and area on the occurrence of the uredinia of *Melampsora caprearum* fungus on goat willow leaves. Namely, different genotypes showed unequal intensity of rust occurrence on the leaves in the canopy. At this moment, it is impossible to determine the precise mechanism for this phenomenon. The reasons for this phenomenon are reflected in various biochemical processes and the potential presence of genes that increase trees' defense reactions (Hückelhoven and Pillen 2024). Larger leaves showed greater resistance compared to smaller leaves. This larger leaf size influences goat willow's preexisting defense mechanisms, which include features such as thicker cell walls, a larger surface area for wax secretion, a greater number and size of leaf hairs, and variations in the shape and arrangement of stomata. These structural differences effectively hinder the pathogen's ability to establish an infection (Hückelhoven and Schouten 2024). The growth of goat willow is hindered in unfavorable conditions, but these plants can rapidly change their growth dynamics when conditions improve (Dušek and Květ 2006). Soil moisture is essential for germination in the first year, and prolonged three-week droughts can result in seedling mortality (Tiebel et al. 2023). According to the above-mentioned, planting and restoring goat willows in high-quality habitats is expected to reduce the occurrence of *Melampsora caprearum*. On the other hand, in lower-quality habitats with decreased productivity, especially in places prone to drought, soil fertilization measures are necessary to promote the growth of goat willow, i.e., to reduce the incidence of *Melampsora caprearum*.

This study also showed that the goat willow genotype influences the abundance of uredinia on leaves, while leaf dimensions did not show a significant effect. Similar to the influence of the genotype on the uredinia occurrence, several mechanisms existed within the goat willow trees, primarily different defense reactions, which contributed to the slow development of the pathogen (Hückelhoven and Schouten 2024). These findings are partially in agreement with a similar study by Toome et al. (2010a, 2010b), which demonstrated that leaf area and clones of *Salix viminalis* L. and *Salix gmelinii* Pall. (*S. dasyclados* Wimm.) impacted the abundance of *Melampsora epitea* rust pustules. Research on the rotting of goat willow branches showed that the branch dimensions did not affect the rot's intensity; rather, the number of microorganisms played a more critical role. This suggests that the size of the branches has limited importance in mitigating rot (Angst et al. 2018). Similar to the aforementioned research, the leaf dimensions had no significance in the abundance of the *Melampsora caprearum* uredinia, i.e., the intensity of leaf destruction. However, in the case of *Melampsora caprearum* rust, it is possible to directly reduce the damage intensity to individual trees by preventing the infection of specific leaves. Pruning can effectively shape the canopy to consist mainly of less sensitive leaves.

Damage to trees caused by *Melampsora caprearum* can potentially reduce the genetic diversity of goat willow. Research on the decline of genetic diversity in goat willow

within fragmented habitats has led to recommendations for preserving populations with various genetic diversity (Tokdemir et al. 2024). In the case of *Melampsora caprearum*, it was found that the genotype and the leaf dimensions of goat willow independently influence the occurrence of infection. In this way, in addition to utilizing and restoring resistant trees, it is possible to encourage the development of large leaves on more susceptible trees. This approach can preserve the stability of various willow stands and create conditions for conserving particularly endangered habitats.

Goat willow is an important component in species succession, where competition on different floors affects species distribution and herbaceous plants' biomass in the understory (Mudrák et al. 2016a). Also, active measures are needed in damaged habitats, where restoration is complex, to enable vegetation succession (Mantero et al. 2023). The lifespan of goat willow seeds is expected to shorten due to global climate change (Tiebel et al. 2024). The germination of goat willow seed depends on whether it is protected within the soil or located on the soil surface (Tiebel et al. 2018). As such, the mechanical removal of weeds in the vicinity of the goat willow trees is recommended, especially in poor habitats, to enhance the nutrient uptake from the soil. Early stimulation of goat willow tree growth is necessary to limit competition from other plants for space and nutrients. Therefore, we suggest that promoting the development of trees with larger leaves is particularly important in endangered habitats where rapid vegetation recovery is needed. The goat willow genotypes were grown under the same environmental conditions, indicating a direct relationship between leaf size and resistance. The development of goat willow leaves can be stimulated by applying various forestry silvicultural measures. These include reduction in competition from other vegetation (Mudrák et al. 2016ab) and thinning (Leonardsson and Götmark 2015), which will contribute to better growth of goat willow, positively impacting leaf development. Another way is to plant seedlings that have larger leaves. Moreover, since certain goat willow genotypes show greater resistance to the occurrence of *Melampsora caprearum*, they should be used where selecting seedlings with larger leaves is not possible.

On the other hand, the excessive spread of willows must be addressed in productive habitats, as this negatively impacts vegetation change (Cannone et al. 2022). Since these habitats enable the natural tendency for larger leaves to develop (Dušek and Květ 2006), we suggest that less susceptible genotypes should be prioritized. In this way, adequate protection is provided without the danger of changing the vegetation.

Defoliation of goat willow trees caused by *Melampsora caprearum* can have indirect negative consequences on the development of subsequent vegetation. The fallen leaves of goat willow can hinder the seed germination of other species in vegetation succession (Mudrák and Frouz 2012). Species diversity at the beginning of vegetation indicates its further development (Mudrák et al. 2016b). On the other hand, disturbances during succession affect the resumption of vegetation growth (Gustafsson et al. 2021). Also, goat willows have lower shoot vigor than other tree species in these habitats. Therefore, the thinning measures can be planned

to follow the needs of the field (Leonardsson and Götmark 2015).

The length and width of goat willow leaves are proven parameters for distinguishing *Salix caprea* from *Salix gracilistyla* Miq. and their hybrids (Seo et al. 2021). Accordingly, balancing the cultivation of trees with different leaf morphologies is necessary to preserve the natural goat willow gene pool and phenotype. Also, *Salix caprea* has slightly lower photosynthesis parameters than green alder (*Alnus alnobetula* (Ehrh.) K.Koch) and aspen (*Populus tremula* L.) as other pioneer species (Popa and Popa 2021). Regulating the diversity of other woody species that share a habitat with willow can contribute to forming different habitus of willow and improve the effect of photosynthesis in a specific habitat.

The ectomycorrhiza of goat willow consists of the species *Hebeloma populinum*, *Cortinarius atrocoeruleus*, *Inocybe hirtella*, *Laccaria cf. ochropurpurea*, *Tuber maculatum*, *Cenococcum geophilum* and *Phialophora finlandia* (Hryniewicz et al. 2023). In addition, endophytic fungi in the roots improve the physiology of goat willow (Likar and Regvar 2013). Biotization of goat willow seedlings gives these fungi the possibility of better growth, and further research should explore the potential use of some of these fungal species to protect goat willows from the rust fungus *Melampsora caprearum*. Currently, it is known that the level of soil salinity and the season influence the development of different genera of ectomycorrhizal fungi (Hryniewicz et al. 2015).

Producing reproductive material, as well as the natural regeneration of more resistant goat willow trees or genotypes with large leaves, also indirectly suppress *Melampsora caprearum* rust. Goat willow seeds are dispersed over long distances from the parent trees (Tiebel et al. 2019). Therefore, goat willow genotypes with a higher degree of resistance, i.e., with larger leaves, have the potential to intensively spread to other localities; they provide the basis for creating goat willow stands less susceptible to damage from this rust.

Finally, it should be noted that the findings on the host–rust interaction contribute to a better understanding of how climate change impacts these pathogens (Helfer 2014). There were several historical periods of the spread of different willow species into new areas, so it is necessary to conduct ecological studies to extend knowledge of habitat differentiation for different willow species (Wagner et al. 2021). Therefore, we believe that findings on the influence of the goat willow leaf morphology on the development of *Melampsora caprearum* can be used to predict the future distribution of this rust due to the expected impact of climate change on tree development.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia, grant number: 451-03-66/2024-03/200027.

REFERENCES

- Aime, M.C., A.R. McTaggart, 2021: A higher-rank classification for rust fungi, with notes on genera. *Fungal Systematics and Evolution* 7: 21–47. <https://doi.org/10.3114/fuse.2021.07.02>
- Angst, Š., P. Baldrian, L. Harantová, T. Cajthaml, J. Frouz, 2018: Different twig litter (*Salix caprea*) diameter does affect microbial community activity and composition but not decay rate. *FEMS Microbiology Ecology* 94 (9): fty126. <https://doi.org/10.1093/femsec/fty126>
- Bagyanarayana, G., 2005: The Species of *Melampsora* on *Salix* (*Salicaceae*). In (Pei, M.H., A.R. McCracken, eds.): *Rust Diseases of Willow and Poplar*. CABI Publishing, Wallingford, Oxfordshire, UK, pp. 29–50.
- Bubner, B., S. Wunder, I. Zaspel, M. Zander, J. Gloger, S. Fehrenz, C. Ulrichs, 2014: *Melampsora* rust species on biomass willows in central and north-eastern Germany. *Fungal Biology* 118 (11): 910–923. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2014.08.002>
- Cannone, N., M. Guglielmin, C. Casiraghi, F. Malfasi, 2022: *Salix* shrub encroachment along a 1000 m elevation gradient triggers a major ecosystem change in the European Alps. *Ecography* 2022 (2): e06007. <https://doi.org/10.1111/ecog.06007>
- Ciszewska-Marciniak, J., M. Jędrzycka, 2011: Life cycle and genetic diversity of willow rusts (*Melampsora* spp.) in Europe. *Acta Agrobotica* 64 (1): 3–10. <https://doi.org/10.5586/aa.2011.001>
- Cvijetanić, R., J. Brujić, M. Perović, V. Stupar, 2016: Dendrologija. Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, Beograd. (eng. Dendrology, University of Belgrade, Faculty of Forestry, Belgrade.)
- Dudney, J., C.E. Willing, A.J. Das, A.M. Latimer, J.C.B. Nesmith, J.J. Battles, 2021: Nonlinear shifts in infectious rust disease due to climate change. *Nature Communications* 12 (1): 5102. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25182-6>
- Dušek, J., J. Květ, 2006: Seasonal dynamics of dry weight, growth rate and root/shoot ratio in different aged seedlings of *Salix caprea*. *Biologia* 61 (4): 441–447. <https://doi.org/10.2478/s11756-006-0074-0>
- Enescu, C.M., T. Houston Durrant, D. de Rigo, G. Caudullo, 2016: *Salix caprea* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In (San-Miguel-Ayán, J., D. de Rigo, G. Caudullo, T. Houston Durrant, A. Mauri, eds.): *European Atlas of Forest Tree Species*. Publ. Off. EU, Luxembourg, pp. e01322d+
- Gonzalez-Ollauri, A., S.B. Mickovski, 2020: The effect of willow (*Salix* sp.) on soil moisture and matric suction at a slope scale. *Sustainability* 12 (23): 9789. <https://doi.org/10.3390/su12239789>
- Gustafsson, L., V. Johansson, A.B. Leverkus, J. Strengbom, S. Wikberg, G. Granath, 2021: Disturbance interval modulates the starting point for vegetation succession. *Ecology* 102 (9): e03439. <https://doi.org/10.1002/ecy.3439>
- Hamelin, R.C., 2022: Rust diseases of forest trees. In (Asiegbu, F.O., A. Kovalchuk, eds.): *Forest Microbiology Volume 2: Forest tree health*. Academic Press, Cambridge, Massachusetts, US, pp. 201–213. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85042-1.00028-8>
- Helfer, S., 2014: Rust fungi and global change. *New Phytologist* 201 (3): 770–780. <https://doi.org/10.1111/nph.12570>
- Hryniewicz, K., B.U. Furtado, J. Szydło, C. Baum, 2023: Ectomycorrhizal diversity and exploration types in *Salix caprea*. *International Journal of Plant Biology* 15 (2): 340–357. <https://doi.org/10.3390/ijpb15020028>
- Hryniewicz, K., S. Szymański, A. Piernik, D. Thiem, 2015: Ectomycorrhizal community structure of *Salix* and *Betula* spp. at a saline site in Central Poland in relation to the seasons and soil parameters. *Water, Air, Soil & Pollution* 226: 99. <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2308-7>
- Hückelhoven, R., A. Pillen, 2024: Genetics of plant disease and resistance. In (Oliver, R.P., R. Hückelhoven, E.M. Del Ponte, A. Di Pietro, eds.): *Agrios' Plant Pathology* (Sixth Edition), Academic Press, London, UK, San Diego, USA, Cambridge, USA.
- Hückelhoven, R., A. Schouten, 2024: Plant immunity and plant defense. In (Oliver, R.P., R. Hückelhoven, E.M. Del Ponte, A. Di Pietro, eds.): *Agrios' Plant Pathology*, Sixth Edition, Academic Press, London, UK, pp. 133–160. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822429-8.00004-2>
- Leonardsson, J., F. Götmark, 2015: Differential survival and growth of stumps in 14 woody species after conservation thinning in mixed oak-rich temperate forests. *European Journal of Forest Research* 134: 199–209. <https://doi.org/10.1007/s10342-014-0843-1>

- Likar, M., M. Regvar, 2013: Isolates of dark septate endophytes reduce metal uptake and improve physiology of *Salix caprea* L. Plant and Soil 370 (1–2): 593–604. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1656-6>
- Lorrain, C., K.C. Gonçalves dos Santos, H. Germain, A. Hecker, S. Duplessis, 2018: Advances in understanding obligate biotrophy in rust fungi. New Phytologist 222 (3): 1190–1206. <https://doi.org/10.1111/nph.15641>
- Mantero, G., D. Morresi, S. Negri, N. Anselmetto, E. Bonifacio, M. Garbarino, R. Marzano, 2023: Short-term drivers of post-fire forest regeneration in the Western Alps. Fire Ecology 19 (1): 1–16. <https://doi.org/10.1186/s42408-023-00182-7>
- Mudrák, O., J. Frouz, 2012: Allelopathic effect of *Salix caprea* litter on late successional plants at different substrates of post-mining sites: pot experiment studies. Botany 90 (4): 311–318. <https://doi.org/10.1139/b2012-005>
- Mudrák, O., M. Hermová, C. Tesnerová, J. Rydlová, J. Frouz, 2016a: Above-ground and below-ground competition between the willow *Salix caprea* and its understorey. Journal of Vegetation Science 27 (1): 156–164. <https://doi.org/10.1111/jvs.12330>
- Mudrák, O., J. Doležal, J. Frouz, 2016b: Initial species composition predicts the progress in the spontaneous succession on post-mining sites. Ecological Engineering 95: 665–670. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.07.002>
- Pei, M.H., 2005: A brief review of *Melampsora* rusts on *Salix*. In (Pei, M.H., A.R. McCracken, eds.): Rust Diseases of Willow and Poplar, CABI Publishing, Wallingford, Oxfordshire, UK, pp. 11–28.
- Pei, M.H., C. Bayon, C. Ruiz, 2005: Phylogenetic position of *Melampsora* in rust fungi inferred from ribosomal DNA sequences. In (Pei, M.H., A.R. McCracken, eds.): Rust Diseases of Willow and Poplar. CABI Publishing, Wallingford, Oxfordshire, UK, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1079/9780851999999.0001>
- Popa, A., I. Popa, 2021: Photosynthesis traits of pioneer broadleaves species from tailing dumps in Călimani Mountains (Eastern Carpathians). Forests 12 (6): 658. <https://doi.org/10.3390/f12060658>
- Ramos, P.A.B., C. Moreirinha, S. Silva, E.M. Costa, M. Veiga, E. Coscueta, S.A.O. Santos, A. Almeida, M.M. Pintado, C.S.R. Freire, A.M.S. Silva, A. J.D. Silvestre, 2019: The health-promoting potential of *Salix* spp. bark polar extracts: Key insights on phenolic composition and in vitro bioactivity and biocompatibility. Antioxidants 8 (12): 609. <https://doi.org/10.3390/antiox8120609>
- Seo, H.-N., H.-I. Lim, Y.-Y. Kim, S.-B. Chae, W. Cho, 2021: Discrimination of *Salix caprea*, *Salix gracilistyla*, and their interspecific hybrid using vegetative characteristics and partial least squares discriminant analysis. Horticultural Science 56 (10): 1–9. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI16015-21>
- Stankevičienė, A. 2018: Prevalence and diversity of *Uredinales* fungi at urban greeneries in Lithuania. In (Treija, S., S. Skujeniec, eds.): 24th Annual International Scientific Conference "Research for Rural Development 2018", Latvia University of Life Sciences and Technologies, Jelgava, Latvia, May 16–18, 2018, pp. 138–144.
- Talhinhas, P., R. Carvalho, R. Figueira, A.P. Ramos, 2019: An annotated checklist of rust fungi (*Pucciniales*) occurring in Portugal. Sydowia 71: 65–84. <https://doi.org/10.12905/0380.sydowia71-2019-0065>
- Tawfeek, N., M.F. Mahmoud, D.I. Hamdan, M. Sobeh, N. Farrag, M. Wink, A.M. El-Shazly, 2021: Phytochemistry, pharmacology and medicinal uses of plants of the genus *Salix*: An updated review. Frontiers in Pharmacology 12: 593856. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.593856>
- Tiebel K., A. Karge, S. Wagner, 2023: Does shading and ground cover of moss and litter improve germination and establishment of *Betula pendula* Roth, *Salix caprea* L. and *Populus tremula* L. seedlings during drought stress in climate change? – A greenhouse study. Forest Ecology and Management 544: 121212. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121212>
- Tiebel, K., J. Dahlmann, A. Karge, 2024: Global warming could shorten the seed lifespan of pioneer tree species and thus natural regeneration window of damaged areas. European Journal of Forest Research 143: 437–450. <https://doi.org/10.1007/s10342-023-01633-1>
- Tiebel K., F. Huth, S. Wagner, 2018: Soil seed banks of pioneer tree species in European temperate forests: a review. iForest - Biogeosciences and Forestry 11 (1): 48–57. <https://doi.org/10.3832/for2400-011>
- Tiebel, K., L. Leinemann, B. Hosius, R. Schlicht, N. Frischbier, S. Wagner, 2019: Seed dispersal capacity of *Salix caprea* L. assessed by seed trapping and parentage analysis. European Journal of Forest Research 138 (3): 495–511. <https://doi.org/10.1007/s10342-019-01186-2>
- Tokdemir, Y., F.Ö. Değirmenci, A. Uluğ, P. Acar, Z. Kaya, 2024: Genetic diversity of *Salix caprea* L. populations in fragmented habitats of northeastern Türkiye. Biologia 79 (4): 2013–2023. <https://doi.org/10.1007/s11756-024-01649-x>
- Toome, M., K. Heinsoo, A. Luik, 2010a: Relation between leaf rust (*Melampsora epitea*) severity and the specific leaf area in short rotation coppice willows. European Journal of Plant Pathology 126: 583–588. <https://doi.org/10.1007/s10658-009-9566-4>
- Toome, M., K. Heinsoo, B. Holm, A. Luik, 2010b: The influence of canopy density on willow leaf rust (*Melampsora epitea*) severity in willow short rotation coppice. Biomass and Bioenergy 34 (8): 1201–1206. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.03.012>
- Veselkin, D.V., N.B. Kuyantseva, O.E. Chashchina, A.G. Mumber, A.G. Zamshina, D.A. Molchanova, 2019: Levels of leaf damage by phyllophages in invasive *Acer negundo* and native *Betula pendula* and *Salix caprea*. Russian Journal of Ecology 50: 511–516. <https://doi.org/10.1134/S1067413619060134>
- Yamaoka, Y. 2014: Recent outbreaks of rust diseases and the importance of basic biological research for controlling rusts. Journal of General Plant Pathology 80: 375–388. <https://doi.org/10.1007/s10327-014-0529-z>
- Wagner, N.D., L. He, E. Hörandl, 2021: The evolutionary history, diversity, and ecology of willows (*Salix* L.) in the European Alps. Diversity 13 (4): 146. <https://doi.org/10.3390/d13040146>
- Woods, R.G., R.N. Stringer, D.A. Evans, A.O. Chater, 2015: Rust Fungus Red Data List and Census Catalogue for Wales. A.O. Chater, Aberystwyth.

Uloga šuma u hidrološkim procesima

The Role of Forests in Hydrological Processes

Ognjen Bonacci

Sveučilište u Splitu Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split
E-mail adresa autora: obonacci@gradst.hr

Sažetak

Rad obrađuje interdisciplinarnu prirodu hidrologije, naglašavajući njezinu ključnu ulogu u razumijevanju i rješavanju problema povezanih s vodom. Voda se ističe kao osnovni preduvjet života, razvoja društava i ekosustava, ali i kao izvor potencijalnih prijetnji u obliku poplava i suša. Klimatske promjene dodatno pojačavaju te rizike, zbog čega je nužno bolje upravljati vodnim resursima. Iznesene su različite podjele hidrologije (prema komponentama hidrološkog ciklusa, metodama istraživanja, primjeni i prostornoj skali) te je istaknuta pojava novih područja poput ekohidrologije i socio-hidrologije. One integriraju prirodne i društvene procese, istražujući kako interakcija vode, ekosustava i ljudi oblikuje okoliš i društveni razvoj. Poseban naglasak stavljen je na hidrologiju šuma. Šume svojim procesima intercepcije, infiltracije, transpiracije i smanjenja površinskog otjecanja značajno utječu na vodnu bilancu, regulaciju hidroloških ekstrema, ublažavanje erozije, zaštitu od poplava i očuvanje kvalitete pitke vode. Istraživanja pokazuju da šume smanjuju varijabilnost padalina, stabiliziraju klimu i djeluju kao prirodni rezervoari i filteri vode. Istovremeno, deforestacija povećava otjecanje i eroziju, dok pošumljavanje može privremeno smanjiti raspoloživu vodu zbog visoke evapotranspiracije mladih šuma. Optimalni učinci ovise o klimi, tipu šume i prostornoj skali. Naglašava se potreba za integriranim pristupom gospodarenju šumama i vodama budući da utjecaji šuma na vodne resurse nisu univerzalno pozitivni ili negativni, već ovise o lokalnim uvjetima. Budući razvoj hidrologije šuma zahtijeva interdisciplinarnost, dugoročne podatke i povezivanje znanstvenih istraživanja s praktičnim upravljanjem ekosustavima u uvjetima klimatskih promjena.

Ključne riječi: hidrologija, hidrologija šuma, intercepcija, ekohidrologija, upravljanje vodnim resursima

DOI:
<https://doi.org/10.31298/sl.150.1-2.3>

Kako citirati / How to Cite:

Bonacci, O., 2026: Uloga šuma u hidrološkim procesima. Šumarski list 150 (1–2): 27–34. <https://doi.org/10.31298/sl.150.1-2.3>



This work is licensed under a Creative Commons
Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

UVOD

INTRODUCTION

Voda je materija neophodna za život svih bića. Bez nje nije moguć opstanak niti jednog poznatog oblika života. Sudjeluje u ključnim biološkim procesima, uključujući metabolizam, transport tvari i regulaciju temperature, pri čemu je njezina uloga univerzalna u svim živim sustavima (Chaplin 2001). Dominantni je čimbenik razvoja i funkcioniranja društvenih zajednica i prirodnih ekosustava. Predstavlja nezamjenjiv resurs u društveno-gospodarskom razvoju jer omogućuje poljoprivrednu proizvodnju, industrijski rast i opskrbu stanovništva, pružajući istovremeno podršku ekosustavima (UNESCO 2020). Pristup vodi, osobito onoj pitkoj, izravno određuje kvalitetu života, zdravlje i gospodarski razvoj zajednica. Raspoloživost vodnim resursima u prostoru i tijekom vremena dominantno utječe na oblikovanje prirodnih ekosustava i društvenih zajednica.

Ekstremne hidrološke pojave, poput poplava i suša, ugrožavale su u prošlosti, a danas još drastičnije ugrožavaju sigurnost, zdravlje i gospodarstvo tako što razaraju društvenu i prirodnu ravnotežu (IPCC 2022). Treba prihvatiti činjenicu da je voda istodobno preduvjet opstanka i razvoja, ali i uzrok potencijalnih prijetnji društvenim zajednicama i prirodnim sustavima.

Klimatske promjene, a prije svega proces globalnog zagrijavanja, utječu na pojavu sve češćih i sve razornijih vodnih katastrofa. Ujedno povećavaju rizike zbog sve neravnomjernije raspodjele i dostupnosti vode u brojnim regijama svijeta. Realno je očekivati da će ti procesi uzrokovati češće i drastičnije sukobe oko vodnih resursa, što može destabilizirati društva i otežati održivi razvoj ekosustava. Treba biti svjestan činjenice da će voda, u vremenu koje je pred nama, predstavljati jednu od najvećih prijetnji kako živim bićima tako i društvenim zajednicama.

Znanost i praksa definitivno moraju naći učinkovita rješenja na izazove u kojima živimo i koji će vjerojatno biti sve izraženiji. Jedan od ključnih i nezaobilaznih pomoćnika u rješavanju sve opasnijih situacija upravo je hidrologija kao znanost, ali i praktična inženjerska disciplina.

Hidrologija analizira pojavnost vode iznad i ispod površine terena, njezino kretanje i raspodjelu, njezina kemijska i fizička svojstva kao i njezino okruženje, uključujući odnos sa živim bićima (NRC 1991). Analizira procese koji upravljaju punjenjem i pražnjenjem vodnih resursa kopnenih površina na Zemlji te izučava različite etape hidrološkog ciklusa (UNESCO i WMO 1992). Bavi se sa svim aspektima vode koja se javlja na planeti. To uključuje izučavanje pojave vode, njezinih svojstava, njezine raspodjele i cirkulacije, kao i utjecaj na živa bića i njihovo okruženje. Hidrologiju su Shiklomanov i Rodda (2003) definirali kao prirodnu znanost koja proučava vodu na, ispod i iznad površine Zemlje, njezino kruženje, distribuciju i utjecaj na okoliš.

Treba imati na umu da hidrologija ne pripada isključivo „čistoj“ geofizičkoj znanosti. Kako ima brojne praktične primjene ona koristi mnoga znanja iz ostalih znanstvenih i praktičnih inženjerskih disciplina (Bonacci 2004, 2015). Njezina interdisciplinarna struktura uključuje brojne praktične komponente. Iako se temelji na prirodnoznanstvenim

metodama i kvantitativnim analizama, ona istovremeno pripada čistoj geofizici i području inženjerstva, objedinjujući širok spektar znanja iz različitih disciplina. U teorijskom smislu oslanja se na fiziku, kemiju, biologiju, klimatologiju i geologiju, dok se u metodološkom smislu koristi matematičkim modeliranjem, statističkim analizama i računalnim simulacijama (Hornberger i dr. 1998). S druge strane, praktične primjene hidrologije usko su povezane s inženjerskim disciplinama, osobito građevinarstvom, vodnim gospodarstvom i okolišnim inženjerstvom.

Primjena hidrologije jasno dolazi do izražaja u projektiranju hidrotehničkih sustava, upravljanju rizicima od poplava i suša, planiranju korištenja vodnih resursa, očuvanju ekosustava te prilagodbi klimatskim promjenama (UNESCO 2020). Hidrologija obavlja prijelaznu funkciju između teorijskih i primijenjenih istraživanja. To ju svrstava u područje fundamentalnih znanosti koje se koriste praktičnim alatima za rješavanje konkretnih inženjerskih, ali sve više i društvenih problema.

Hidrologiju svakako treba promatrati kao interdisciplinarnu znanost koja povezuje temeljna istraživanja i inženjersku praksu. Njezina specifična vrijednost leži upravo u toj dvostrukoj ulozi, tj. objašnjavanju prirodnih procesa i omogućavanju održivog upravljanja vodnim resursima u korist prirode i društva.

Cilj ovog rada detaljnija je analiza strukture hidrologije i njezine uloge u rješavanju brojnih problema i rizika povezanih s vodom koji su danas sve češći i sve razorniji. Budući da je riječ o vrlo obimnoj problematici, u ovom će se radu naglasak staviti na hidrologiju šuma ili šumsku hidrologiju. Hidrologija šuma odabrana je jer se u Hrvatskoj koristi i razvija gotovo isključivo u području šumarstva dok je skoro zanemarena u ostalim segmentima znanosti i prakse. Time se želi ukazati na njezin vrlo širok značaj i povezanost s ostalim hidrološkim granama te na taj način potaknuti njezin razvoj u hrvatskoj znanstvenoj zajednici.

PODJELA HIDROLOGIJE

DIVISION OF HYDROLOGY

U literaturi postoje različite klasifikacije hidrologije, ovisno o kriteriju istraživanja. Najčešće se navode podjele prema: (1) komponentama hidrološkog ciklusa, (2) metodama istraživanja, (3) primjeni (primijenjena hidrologija) i (4) prostornoj skali.

Prema komponentama hidrološkog ciklusa dijeli se na:

- **Atmosfersku hidrologiju ili hidrometeorologiju** u kojoj se naglasak stavlja na oborine, isparavanje, vlagu zraka i procese u atmosferi povezane s vodom.
- **Površinsku hidrologiju** koja tretira vodne resurse u rijekama, jezerima, močvarama te se bavi problematikom površinskog otjecanja.
- **Hidrologiju podzemnih voda (hidrogeologiju, geohidrologiju)** koja izučava podzemne vode i vodonosnike.
- **Kriogenu hidrologiju (hidrologiju snijega i leda)** koja se bavi ulogom snijega, ledenjaka i permafrosta u hidrološkom ciklusu.

- **Hidrologiju mora i oceana** kao poveznicu s oceanografijom usmjerenu na proučavanje procesa i uloge mora i oceana u globalnom ciklusu vode.

Prema metodama istraživanja hidrologija se dijeli na:

- **Opisnu (deskriptivnu) hidrologiju** koja opisuje pojave i procese.
- **Kvantitativnu (analitičku) hidrologiju** koja koristi mjerenja, statistiku, modele i matematičke metode.

Prema primjeni, pod nazivom primijenjena hidrologija, svrstani su sljedeći tipovi hidrologije:

- **Inženjerska hidrologija** se bavi projektiranjem brana, akumulacija, sustava odvodnje i zaštite od poplava.
- **Vodoprivredna hidrologija** rješava problematiku upravljanja vodnim resursima.
- **Hidrologija okoliša** tretira odnos vode i ekosustava, uključujući kvalitetu vode.
- **Urbana hidrologija** se bavi vodoopskrbom, oborinskim vodama, kanalizacijom i obranom gradova od poplava.
- **Poljoprivredna hidrologija** izučava odnos voda–tlo–biljka te se bavi problematikom navodnjavanja i odvodnjavanja.
- **Hidrologija šuma** izučava utjecaj šuma na oborine, isparavanje, infiltraciju i otjecanje.

Prema prostornoj skali podjela je sljedeća:

- **Globalna hidrologija** tretira globalni ciklus vode i klimatske promjene.
- **Regionalna hidrologija** analizira procese u većim prostornim cjelinama kao npr. slivovima većih rijeka.
- **Lokalna hidrologija** izučava procese na malim slivovima i vodotocima, izvorima te u malim vodonosnicima.

Prethodno iznesena podjela predstavlja samo jednu od mogućih klasifikacija. Ona međutim, jasno i nedvosmisleno ukazuje na kompleksnost, multidisciplinarnost, interdisciplinarnost i transdisciplinarnost hidrologije, potvrđujući tako i njezinu važnu ulogu u suvremenim procesima.

Kao nova područja hidroloških izučavanja javljaju se ekohidrologija i socio-hidrologija. Ekohidrologiju ili hidroekologiju može se opisati i kao „neinženjersku“ hidrologiju razvijenu iz hidrologije šuma, životne sredine, vlažnih prostora, krajolika, jezera, priobalnih područja, itd. Njezina kompromisna definicija, prihvaćena od brojnih dijelova znanstvene zajednice, mogla bi biti sljedeća: „Ekohidrologija je znanost koja integrira hidrološke procese s dinamikom živih organizama u raznim prostornim i vremenskim mjerilima“ (Bonacci 2003). Ekohidrologija proučava načine na koje fizički i biološki procesi interaktivno djeluju s hidrološkim procesima. Korištenjem koncepta ekologije i hidrologije pokušava se stvoriti novo i učinkovito znanstveno, ali i praktično oruđe za ostvarivanje ciljeva održivog razvoja.

Sveobuhvatno proučavanje hidrološkog ciklusa u bilo kojoj vremenskoj i/ili prostornoj skali zahtijeva poznavanje obrazaca oborina, dinamike tla i podzemnih voda, interakcije s vegetacijom te procesa poput kruženja hranjivih tvari i dinamike hranidbenih mreža u vodenim ekosustavima. Wood i dr. (2008) naglašavaju da su staništa ovisna o vodi

izuzetno raznolika u pogledu svoje prirode (npr. suha područja, močvare, potoci/rijeke i bare/jezera) i geografije (od polova do ekvatora, od niskih do visokih geografskih širina). Mnoga od njih podržavaju zajednice i vrste visoke vrijednosti za očuvanje, od kojih su neke ugrožene i pred izumiranjem. Kako se pritisak na staništa ovisna o vodi povećava zbog globalnih klimatskih promjena i sve većih antropogenih utjecaja, jasno je da će uravnoteženje potreba ljudi za vodom s potrebama ekosustava, kako kopnenih tako i vodenih, sve više postajati ključno i ne isključivo ekološko pitanje.

Ovaj temeljni, još uvijek nesiguran i problematičan „čin uravnoteženja“ zahtijeva odgovore na vrlo složena pitanja. To je potaknulo istraživače da rade na razvoju nove integrativne znanosti kojoj je cilj ne samo povezati tradicionalna područja hidrologije i ekologije nego stvoriti metode i alate novih interdisciplinarnih istraživanja. U tom kontekstu, razvija se ekohidrologija, a u najnovije vrijeme i socio-hidrologija čiji je cilj otkriti elemente ove složenosti te pružiti temelj za održivo upravljanje vodnim resursima i s njima vezanim ekosustavima, ali i društvenim procesima. Razvoj ekohidrologije podstaknuo je razvoj interdisciplinarne znanosti nazvane socio-hidrologija.

Socio-hidrologija interdisciplinarno je područje hidrologije koje proučava međudjelovanje ljudi i vodnih sustava u vremenu i prostoru. Socio-hidrologija se klasificira kao nova interdisciplinarna grana hidrologije koja stoji između hidrologije okoliša i društvenih znanosti (Sivapalan i dr. 2012; Di Baldassarre i dr. 2013, 2015; Bonacci 2021). U međunarodnim publikacijama često se opisuje kao „znanost o ljudima i vodi“ (engl. *the science of people and water*). Ističe važnost šireg pristupa proučavanju odnosa čovjeka i vode, integrirajući dinamiku vremena i prostora te postizanje sinergije između tradicionalne hidrologije i društvenih znanosti. Razvila se tijekom posljednjeg desetljeća kao grana integralne ili systemske hidrologije s ciljem razumijevanja kako ljudske aktivnosti oblikuju hidrološke procese i kako hidrološki uvjeti utječu na društva. Dio je hidrologije okoliša. Bliska je ekohidrologiji, ali i hidrologiji šuma te stavlja naglasak na društvene sustave. Interdisciplinarna je disciplina jer kombinira hidrologiju, društvene znanosti, ekonomiju, politiku i upravljanje vodama.

Ključne teme kojima se bavi socio-hidrologija su: (1) rizici od poplava i suša te društveni odgovor na njih; (2) upravljanje vodnim resursima u cilju održivog razvoja; (3) izučavanje procesa kao što su migracije i urbanizacija u kontekstu dostupnosti vodi; (4) osiguranje održivosti u uvjetima klimatskih promjena; (5) izučavanje društveno-hidrološke koevolucije, tj. procesa zajedničke promjene društva i vodnih režima.

Složene probleme koji se javljaju u odnosu čovjeka i vode potrebno je tretirati mnogo šire od onoga kako je to uobičajeno u klasičnoj hidrologiji. Interakcija čovjeka i vode složena je, dinamična i podložna naglim promjenama uvjetovanim prvenstveno raspoloživošću vode u prostoru i vremenu te potrebama ljudi i prirode za istom. U sebi nosi nedokučiv broj posljedica za sve procese na Zemlji (društvene, ekološke, biološke itd.). O odnosu čovjeka i vode izravno ovisi ispunjavanje globalnih ciljeva održivog razvoja. Zbog toga se taj odnos ne smije tretirati isključivo ili dominantno s hidrološkog ili samo društvenog stanovišta (Bonacci 2021).

HIDROLOGIJA ŠUMA

FOREST HYDROLOGY

FAO (2020) šumu definira kao zemljište veće od 0,5 ha koje nije pretežito poljoprivredne ili urbane namjene, a na kojem raste drveće više od 5 m, sa sklopom krošnja većim od 10 %. Šume su složeni ekosustavi koji obiluju raznolikom florom i faunom. Sa stanovišta hidrologije i vodnih resursa bitna je uloga šuma kao regulatora vodnog režima. Šume kroz procese intercepcije, infiltracije, transpiracije i smanjenja površinskog otjecanja značajno utječu na kruženje vode i ublažavanje hidroloških ekstrema (Calder 2005). Vertessy i Elsenbeer (1999) šumu definiraju kao hidrološki ključan ekosustav jer određuje infiltraciju, otjecanje i raspodjelu vode u slivovima. Oni naglašavaju da se šumu ne treba tretirati isključivo kao zajednicu drvenaste vegetacije, nego i kao važan regulator kruženja vode u određenom području. Šumski ekosustavi predstavljaju jedan od najvažnijih čimbenika u održavanju vodne bilance i zaštiti tla od erozije (Španjol i dr. 2011). Na značajnu ulogu šuma u osiguranju kvalitetne pitke vode ukazao je Prpić (2006). Šume stoga ne igraju samo značajnu ulogu u hidrološkim nego i u ključnim ekološkim i socijalnim procesima. Uloga šuma nedovoljno je istražena u svim vidovima hidrologije.

Hidrologija šuma znanstvena je disciplina koja proučava međusobne odnose između šumskih ekosustava i kruženja vode. To uključuje način na koji šuma utječe na: (1) padaline (zadržavanje kiše i snijega krošnjama – intercepcija); (2) isparavanje i transpiraciju (evapotranspiracija drveća i vegetacije); (3) infiltraciju i podzemne tokove (ulazak vode u tlo i punjenje vodonosnika); (4) površinsko otjecanje; (5) eroziju; (6) reguliranje hidrološkog režima otvorenih vodotoka (ublažavanje poplavnih valova, održavanje tečenje malih voda u sušnim razdobljima). Radi se o vrlo složenim interakcijama koje ovise o brojnim čimbenicima koje do danas još nisu dovoljno izučene i shvaćene. Hidrologijom šuma se u svijetu, a osobito u Hrvatskoj, prvenstveno bave šumarski stručnjaci dok su geofizičari i inženjeri manje prisutni u ovom izrazito važnom području hidrologije.

Šume su značajni potrošači vode, ali istovremeno funkcioniraju kao prirodni filteri i rezervoari vode. U ekstremnim vremenskim uvjetima i uvjetima rasta, pokrov šumskih krošnji faktor je koji može uvelike utjecati na otjecanje vode. Svojim nadzemnim i podzemnim dijelovima šume reguliraju otjecanje i infiltraciju površinskih voda (Planinšek i dr. 2011).

Utjecaj šuma na klimu povezan je s biokemijskim procesima drveća, poput fotosinteze, koja utječe na razinu CO₂ u atmosferi te igraju važnu ulogu u kruženju ugljika (Psistaki i dr. 2024). Šume bitno utječu na klimu jer reguliraju izmjenu energije, vode i ugljika između biosfere i atmosfere, ublažavaju temperaturne ekstreme, potiču formiranje oborina te djeluju kao veliki spremnici ugljika (Bonan 2008, Pilaš i Planinšek 2011). Šume igraju značajnu ulogu u regulaciji mikroklimе, smanjenju temperaturnih kolebanja i održavanju vlažnosti zraka. FAO (2020) ističe globalnu ulogu šuma u ublažavanju klimatskih promjena kroz sekvencijaciju ugljika i regulaciju hidroloških procesa. Šumski ekosustavi smanjuju klimatske ekstreme, pridonose zadržavanju vode i stabilizaciji okoliša te imaju presudnu ulogu u ublažavanju posljedica klimatskih promjena (Nedeljković i dr. 2019).

O'Connor i dr. (2021) su ustanovili da šume smanjuju varijabilnost mjesečnih padalina u 10 od 14 svjetskih bioma.

Iz šumom pokrivenih područja otječe znatno manje vode nego iz nešumovitih. U tome ključnu ulogu igraju procesi evaporacije i transpiracije te intercepcija, odnosno zadržavanje oborina na krošnjama (Bonacci 1994). Gubitak vode uzrokovan intercepcijom igra važnu ulogu u kontroli vodne bilance sliva, posebno tamo gdje se odvijao urbani razvoj (Asadian i Weiler 2009). Gash (1979) je identificirano sljedeća dva glavna čimbenika koja kontroliraju isparavanje kiše zadržane na krošnjama: (1) vrijeme koje krošnja provodi zasićena tijekom kiše i brzina isparavanja primjenjiva u tim uvjetima; (2) kapacitet zasićenja krošnje i broj pražnjenja te zalihe isušivanjem nakon prestanka kiše.

Gubitak od intercepcije predstavlja količinu bruto oborina zadržanih na površini vegetacije, a potom isparenih. Kako i koliko intercepcija smanjuje infiltraciju spada među složene i do sada nedovoljno istražene hidrološke probleme. Na osnovi satelitskih mjerenja tijekom razdoblja 2000. – 2020. Lian i dr. (2022) su procijenili da se radi o približno 9 % ukupne globalne količine vode ispuštene s površine kopna u atmosferu. Učestalost oborina regulira dugoročne prosječne varijacije intercepcije, dok intenzitet oborina (a ne atributi vegetacije) određuje udio gubitaka bruto oborine uslijed intercepcije. Kišne pojave postale su rjeđe i intenzivnije od 2000. godine, što je dovelo do globalnog pada intercepcije za 4,9 – 6,7 % (Lian i dr. 2022). To sugerira da kontinuirane promjene u količini oborina pogoduju usmjeravanju prema većoj vlažnosti tla i otjecanju, što koristi funkcijama ekosustava, ali istovremeno povećava rizik od poplava.

Točne procjene gubitka oborina intercepcijom ključne su za modeliranje vodne bilance šumskih područja. Međutim, postoji znatna regionalna varijabilnost u procesu presretanja, kao i još uvijek mnogo nesigurnosti u definiranju točnih vrijednosti (Gash 1979, Oliveira i dr. 2024). Crnogorične šume (npr. smreka, jela, bor) imaju veću intercepciju nego listopadne šume. Zimzelene krošnje imaju gušći sklop, igličasto lišće, veću lisnu površinu i to tijekom cijele godine. U listopadnim šumama lišće otpada u jesen, pa zimi gotovo nema intercepcije te tada snijeg i kiša slobodno dopijevaju na tlo. Potrebno je naglasiti da zimi također postoji intercepcija kod bjelogoričnih vrsta, ali u mnogo manjem obimu (Helbig i dr. 2020, Cebulski i Pomeroy 2025). Prosječna intercepcija kod crnogoričnih šuma iznosi 20 – 40 % godišnjih oborina, dok se kod listopadnih šuma kreće između 10 – 25 % godišnjih oborina (Zinke 1967, Xiao i dr. 2000, Rahman i dr. 2023). Krošnje borova zadrže i do 27 % oborine, a krošnje bukve samo oko 5 – 15 % oborine (Crockford i Richardson 2000, Pflug i dr. 2021, Fischer i dr. 2023, Rahman i dr. 2023).

Važno je naglasiti da masovne sječe šuma ne samo izravno povećavaju površinsko otjecanje, već imaju i neizravni učinak zbog klimatskih povratnih veza koje dodatno mijenjaju lokalnu klimu i hidrološki ciklus (Ma i dr. 2024). Ti neizravni učinci proizlaze iz smanjenja padalina i promjena u potencijalnoj evapotranspiraciji uzrokovanih deforestacijom, što dovodi do kompleksnih uzoraka promjene otjecanja.

Deforestacija gotovo uvijek povećava količinu otjecanja u otvorenim vodotocima jer se uklanjanjem šuma smanjuju evapotranspiracija i intercepcija. Međutim, dugoročno može

dovesti do degradacije tla, erozije i smanjenja kvalitete vode. S druge strane, pošumljavanjem se smanjuje raspoloživa voda u vodotocima jer mlade i rastuće šume imaju vrlo visoke stope evapotranspiracije. Ravnoteža između šuma i vode ovisi o: (1) klimi (vlažna – suha područja); (2) vrsti šumskih sastojina (listopadne – crnogorične); (3) fazi razvoja šume (mlade šume troše više vode nego zrele) (Filoso i dr. 2017, FAO 2020, François i dr. 2024).

Učinci promjena šumskog pokrova na vodu ovise o prostornoj skali. Na malim slivovima, kao npr. na eksperimentalnim parcelama površine manje od 10 km², učinci deforestacije ili pošumljavanja na otjecanje su najjasniji i najizraženiji. Na rijekama sa slivovima većim od 1000 km² učinci postaju manje izraženi zbog heterogenosti slivova i drugih faktora kao što su klima, geologija i korištenje zemljišta. Najveći porast otjecanja uzrokovanih deforestacijom zabilježen je u humidnim područjima. Učinci pošumljavanja šuma na smanjivanje otjecanja jači su u suhim i polusušnim područjima. U humidnim regijama šume više utječu na raspodjelu vode tijekom godine (sezonalnost) nego na ukupnu količinu vode. U sušnim regijama šume imaju presudan utjecaj na raspoloživost vode. U područjima s plitkim podzemnim vodama, šume mogu snažno mijenjati režim baznog otjecanja (Zhang i dr. 2017).

Zhang i dr. (2012) su analizirali utjecaj klimatske varijabilnosti i sječe šuma na otjecanje u slivu Gornjeg Minjianga (gornji tok rijeke Jangce, KinaWei). Rezultati su pokazali da klimatski čimbenici objašnjavaju više od 70 % promjena u otjecanju, dok je sječa šuma pridonijela s 20 – 30 %, osobito tijekom 1970-ih i 1980-ih godina. Autori naglašavaju da su klimatske promjene imale dugotrajniji i dominantniji utjecaj, dok su učinci sječe bili izraženiji na manjim prostornim razmjerima.

Zhang i Wei (2021) naglašavaju da šume nisu uvijek „vodne pumpe“ ili „vodni rezervoari“, što znači da njihov utjecaj na vodoopskrbu ovisi o lokalnim uvjetima i ciljevima gospodarenja. Zbog toga upozoravaju da politike pošumljavanja trebaju uključiti i vodnu dimenziju. Globalna inicijativa, kao što je npr. borba protiv klimatskih promjena kroz masovno sađenje sadnica šumskog drveća, mora biti pažljivo planirana jer može imati negativne posljedice na raspoloživost vode u sušnim regijama.

Prema Ellisonu i Speranzi (2020), šumski i grmolik pokrov u Sahelu značajno pridonosi povećanju zaliha zelene vode (vlage u tlu dostupne biljkama), čime se poboljšava infiltracija, smanjuje površinsko otjecanje i erozija te povećava otpornost krajolika na suše i klimatske ekstreme. Autori naglašavaju da zdraviji ekosustavi time ne samo jačaju lokalnu otpornost, već doprinose i stabilnijem dotoku plave vode (rijeka i podzemnih voda). Jones i dr. (2022) navode da restauracija šuma snažno utječe na hidrologiju, pri čemu u ranim fazama može doći do smanjenja raspoloživih plavih vodnih resursa zbog visoke evapotranspiracije mladih šuma. Dugoročno, međutim, obnova šuma povećava kapacitet infiltracije i skladištenja vode u tlu, smanjuje eroziju i rizik od poplava te doprinosi stabilnijem režimu dotoka u vodotoke.

Elenius i dr. (2025) su analizirali utjecaj ponovnog vlaženja tresetišta pokrivenih šumama u Švedskoj. U prethodnim razdobljima na tim tresetištima vršena su intenzivna dre-

niranja terena što je uzrokovalo njihovo isušivanje i brojne negativne posljedice. Jedna od njih je bila i povećanje broja poplava. Zbog toga su poduzeti radovi na ponovnom vlaženju (*rewetting*) isušanih tresetišta. Autori su utvrdili da učinak ovisi o lokaciji i hidrološkim uvjetima. Ponovno vlaženje šumskih tresetišta može imati značajan utjecaj na smanjenje ekstremnih protoka, ali je taj učinak prostorno specifičan. Najveća korist ostvaruje se u gornjim dijelovima slivova i na tresetištima koja imaju veliki udio u ukupnoj površini sliva. Smanjenje vršnih protoka i povećanje baznog toka može ublažiti vršne protoke tijekom poplavnih događaja, dok istodobno povećava zadržavanje vode i bazni tok u sušnijim razdobljima. Otkrili su da je promjena ekstremnih vrijednosti protoka na slivovima većim od 10 km² mala jer na proces znatno utječe dotok s različitih kopnenih pokrova. Zaključili su da na većoj prostornoj skali ponovno vlaženje nije učinkovita mjera za borbu protiv suša ili poplava. Utjecaj na vremensku dinamiku otjecanja, tj. promjene u hidrološkom režimu nakon ponovnog vlaženja, najizraženiji je u prijelazima sezona, primjerice tijekom otapanja snijega ili nakon jakih kiša. Ograničenja i varijabilnost učinaka ponovnog vlaženja nisu univerzalno rješenje. Učinci su vrlo različiti ovisno o geomorfologiji, klimi i postojećoj uporabi zemljišta.

U svojim istraživanjima Ilstedt i dr. (2016) zaključili su da odnos između šumskog pokrova i podzemnih voda u sezonski suhim tropima nije linearan. Premalo drveća dovodi do erozije i smanjene infiltracije, dok previše drveća povećava evapotranspiraciju i time ograničava punjenje zaliha podzemnih voda. Najveći prinos podzemnih voda ostvaruje se pri srednjem udjelu šumskog pokrova (30 – 45 %), što potvrđuju terenska mjerenja i modeliranje u Burkini Faso (Ilstedt i dr. 2016). Autori ističu da optimalna razina drvenaste vegetacije osigurava ravnotežu između opskrbe vodom, poljoprivredne produktivnosti i očuvanja ekosustava.

Prisustvo šume, kao i mnogobrojne pore koje se nalaze unutar šumskoga tla, omogućuju brzu infiltraciju padalina u većim količinama, osobito tijekom intenzivnih kratkotrajnih oborinskih pljuskova. Spomenute pore postoje zbog prirode šumskoga tla, ali i djelovanja životinja i mikroorganizama koji žive u šumskom tlu. Upravo zbog takve građe, šumska tla imaju znatno veću sposobnost primanja vode nego bilo koja druga nešumska tla. Usporede li se međusobno šuma i pašnjak, može se primijetiti da šumsko zemljište propušta 10 – 30 %, a često i do 50 % više vode nego pašnjak. Istraživanja su pokazala da 100 mm vode u dobrom šumskom tlu ponire za 1 – 2 minute, a na pašnjaku to traje 1 – 5 sati (Chávez-Collantes i dr. 2025). Gageler i dr. (2014) su utvrdili da su stope infiltracije u pašnjacima otprilike 15 % od stope koju pokazuje šumski prostor, što znači da infiltracija u pašnjacima iznosi samo oko petinu infiltracije u šumama.

Šumski pokrov svojevrsan je filter koji upija oborinske vode koje se kasnije javljaju kao izvori pitke filtrirane vode. Tikvić i Seletković (2003) tvrde da izvorišta vode koja se opskrbljuju iz šume ne presušuju, a odlikuju se zdravom i pitkom vodom. Šume obavljaju i vodozaštitnu funkciju pročišćavanjem oborinskih voda koje prolaze kroz rahlo šumsko tlo koje djeluje kao filter. Na taj način oborinske vode s površine prelaze u podzemne vode kao pitka voda.

Erozija uzrokovana vjetrom i vodom snažno degradira terene na kojima nema šuma. Prisustvo šuma značajno utječe na smanjenje erozije. Šumski ekosustavi učinkovito štite od vodom, ali i vjetrom izazvane erozije. Šume značajno smanjuju i usporavaju eroziju svojim krošnjama i granama, razvijenim sustavom korijena kao i otpalim lišćem. Vegetativni pokrov (lišće, humus) upija energiju padalina, smanjuje otjecanje i sprječava ispiranje tla. Sustavi korijenja povezuju čestice tla i stvaraju stabilnu strukturu manje podložnu eroziji. Stabilnost padina pojačava se zahvaljujući drenaži vode kroz transpiraciju i mehaničkom učvršćivanju tla kroz korijenje koje povezuje slojeve tla i sprječava klizanja. Šumski ekosustavi tako djeluju kao prirodna zaštita, ublažavaju erozijske procese i doprinose očuvanju krajolika. Rodrigues i dr. (2021) analiziraju različite modele šumskog gospodarenja i pokazuju kako oni mogu optimizirati zaštitu tla od erozije na razini krajolika.

U većoj ili manjoj mjeri svaka šuma obavlja funkciju ublažavanja rizika od poplava. Područje poplavnih šuma koristi se kao retencijski prostor zadržavanja visokih vodnih valova. U području hidrološkog utjecaja na rizike od poplava najveću ulogu imaju gorske i planinske šume gornjeg toka koje zadržavaju vodu i smanjuju mogućnost pojave visokih vodnih valova (Prpić i Milković 2005).

Šume nude vitalne usluge ekosustavima apsorbirajući atmosferski CO₂, pritom djelujući kao „banka ugljika“ koja ublažava klimatske promjene oslobađajući vodenu paru putem evapotranspiracije čime se pomaže u hlađenju lokalne klime (Gregor i dr. 2024). Uslijed sve intenzivnijih manifestacija klimatskih promjena održivi rast i produktivnost šuma predstavljaju ključni zadatak ne samo za šumarstvo, nego i za brojne druge sektore (Vrbek i dr. 2010, Vacek i dr. 2023).

ZAKLJUČCI

CONCLUSIONS

Unatoč sve većem broju istraživanja i dokaza o važnosti šuma za vodni režim, hidrologija šuma još uvijek nije dovoljno uključena u rješavanje problema inženjerske hidrologije. Razlozi za to su višestruki i obuhvaćaju znanstvene, metodološke, institucionalne i praktične izazove. Nastavno se navode neki od njih.

1. Postoji tzv. skalni jaz, odnosno nepouzdanost prenosivosti rezultata. Učinci šuma ovise o prostornoj i vremenskoj skali, klimi i tipu šume pa se rezultati teško prenose u standardne inženjerske proračune.
2. Radi se o tzv. nesigurnosti procesa. Pri tome se prije svega misli na intercepciju i sezonsku dinamiku, što otežava uključivanje u inženjerske modele.
3. Ključni problem za donošenje pouzdanih zaključaka i na osnovi njih praktičnih mjera leži u nedostatku dugotrajnih i reprezentativnih nizova mjerenja složenih interaktivnih procesa odnosa šume i vodnih resursa. Za donošenje pouzdanih zaključaka potrebni su višedesetljetni uvidi za kalibraciju i validaciju koncepata i modela.
4. Modeli i koncepti u kojima je spojena problematika povratnih veza šuma, klime i hidrologije često se zane-maruju u klasičnim inženjerskim pristupima.

5. Šume nisu uvijek univerzalno pozitivne za vodne resurse, već ovise o ciljevima i lokalnim uvjetima.

6. Problematikom hidrologije šuma pretežno se bave stručnjaci u šumarskom sektoru i stoga rijetko ulazi u standarde inženjerske prakse.

7. Učinci šumskih intervencija osjete se desetljećima kasnije, dok inženjerski projekti traže brze odgovore.

Sadašnje i buduće djelovanje šumarske struke i znanosti bit će sve više usmjereno na shvaćanje posljedica klimatskih promjena i prilagodbi gospodarenja u šumama. To zahtijeva angažman svih sastavnica unutar šumarskog sektora. Razumijevanje utjecaja pokrova zemljišta u oborinskom području na transport atmosferske vlage ključno je za procjenu regulatornih usluga ekosustava za vodu i klimu nekog područja i može postati sve važnije zbog kontinuiranih promjena u pokrovu zemljišta i klimatskih promjena (O'Connor i dr. 2021).

Zhang i dr. (2017) ističu da politike gospodarenja šumama i vodama moraju biti integrirane budući da ne postoji univerzalno „pozitivan“ ili „negativan“ učinak šuma na vodu. Učinci ovise o klimi, tipu šume, prostornoj skali i hidrološkom režimu. Zato preporučuju planiranje šumskog gospodarenja u skladu s lokalnim vodnim ciljevima kao što su zaštita od poplava, opskrba pitkom vodom, očuvanje ekosustava, itd. Autori ističu važnost integriranja planova obnove šuma s upravljanjem vodnim resursima kako bi se maksimalizirale koristi hidrologije i ekosustava.

Amaty i dr. (2011) smatraju da je hidrologija šuma u posljednjim desetljećima ostvarila značajan napredak u razumijevanju procesa poput evapotranspiracije, otjecanja, intercepcije i interakcije površinskih i podzemnih voda, kao i u razvoju hidroloških modela i mjernih tehnologija. Unatoč tome, i dalje postoje veliki izazovi u pogledu utjecaja klimatskih promjena i ljudskih aktivnosti, skaliranja i validacije modela te nedostatka dugoročnih podataka. Autori naglašavaju da budući razvoj discipline zahtijeva interdisciplinarnost te bolju integraciju istraživanja u upravljanje šumskim ekosustavima i vodnim resursima.

Nastavno se navodi šest osnovnih zaključaka ovog rada.

1. Hidrologija je temeljno interdisciplinarno područje koje povezuje prirodne znanosti, inženjerstvo i društvene aspekte. Osim što objašnjava kruženje vode u prirodi, hidrologija pruža i praktične alate za održivo upravljanje vodnim resursima.
2. Šumski ekosustavi imaju ključnu ulogu u regulaciji hidrološkog režima: ublažavaju poplavne valove i smanjuju raspoloživu vodu zbog visoke evapotranspiracije mladih sastojina. Dugoročno, povećavaju infiltraciju i podzemne zalihe vode, smanjuju eroziju i osiguravaju kvalitetu pitke vode. Međutim, njihov utjecaj nije univerzalan. Razlikuje se ovisno o tipu šume, klimi, prostornoj skali i fazi razvoja sastojina.
3. Deforestacija gotovo uvijek povećava površinsko otjecanje i eroziju, dok obnova šuma povećava otpornost ekosustava, infiltraciju i skladištenje vode.
4. Klimatske promjene značajno utječu na dostupnost i raspodjelu vode, što uzrokuje sve češće i intenzivnije

poplave i suše. U tom kontekstu uloga šuma postaje još važnija jer one stabiliziraju hidrološke i klimatske procese te pridonose ublažavanju posljedica globalnog zatopljenja.

5. Učinci šuma na vodne resurse nisu jednoznačno pozitivni ili negativni, zbog čega politike gospodarenja šumama moraju biti integrirane s politikama upravljanja vodama. Potrebna je snažnija veza između znanstvenih istraživanja, mjernih tehnologija i praktičnog gospodarenja kako bi se donijele odluke temeljene na lokalnim hidrološkim uvjetima i ciljevima (poput zaštite od poplava, opskrbe pitkom vodom, očuvanja ekosustava).

6. Konačni zaključak ovog rada je da šume imaju pretežno pozitivan učinak na vodne resurse.

LITERATURA

REFERENCES

- Amatya, D.M., K.R. Douglas-Mankin, T.M. Williams, R.W. Skaggs, J.E. Nettles, 2011: Advances in Forest Hydrology: Challenges and Opportunities. *Transactions of the ASABE* 54 (6): 2049–2056. <https://doi.org/10.13031/2013.40672>
- Asadian, Y., M. Weiler 2009: A new approach in measuring rainfall interception by urban trees in coastal British Columbia. *Water Quality Research Journal* 44 (1): 16–25. <https://doi.org/10.2166/wqrj.2009.003>
- Bonacci, O., 1994: Intercepcija – zadržavanje oborina. U (Bonacci O., ur.): *Oborine glavna ulazna veličina u hidrološki ciklus*. Geing, Split, pp. 307–315.
- Bonacci, O., 2003: Ekohidrologija vodnih resursa i otvorenih vodotoka. Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split.
- Bonacci, O., 2004: On the role of hydrology in water resources management. *IAHS Publication* 285: 88–94.
- Bonacci, O., 2015: Quo vadis hydrologia? – Kuda ideš hidrologijo? *Vodoprivreda* 47 (273–275): 15–28.
- Bonacci, O., 2021: Razvoj hidrologije u 21. stoljeću. *Hrvatske vode* 29 (115): 1–10.
- Bonan, G.B., 2008: Forests and climate change: Forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science* 320 (5882): 1444–1449. <https://doi.org/10.1126/science.1155121>
- Calder, I.R., 2005: *Blue Revolution: Integrated Land and Water Resource Management*. Earthscan, London.
- Cebulski, C., J.W. Pomeroy, 2025: Theoretical underpinnings of snow interception and canopy snow ablation parameterisations. *WIREs Water* 12 (1): e70010. <https://doi.org/10.1002/wat2.70010>
- Chaplin, M., 2001: Water: Its importance to life. *Biochemistry and Molecular Biology Education* 29 (2): 54–59. <https://doi.org/10.1111/j.1539-3429.2001.tb00070.x>
- Chávez-Collantes, A., D.J. Vásquez Lozano, L.D. Velarde-Apaza, J.-P. Cuevas, R. Solórzano, R. Flores-Marquez, 2025: Influence of vegetation cover and soil properties on water infiltration: A study in High-Andean ecosystems of Peru. *Water* 17: 2280. <https://doi.org/10.3390/w17152280>
- Crockford, R.H., D.P. Richardson, 2000: Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. *Hydrological Processes* 14 (16–17): 2903–2920. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.036>
- Di Baldassarre, G., A. Viglione, G. Carr, L. Kuil, J.L. Salinas, G. Blöschl, 2013: Socio-hydrology: conceptualising human-flood interactions. *Hydrology and Earth System Sciences* 17 (8): 3295–3303. <https://doi.org/10.5194/hess-17-3295-2013>
- Di Baldassarre, G., A. Viglione, G. Carr, L. Kuil, K. Yan, L. Brandimarte, G. Blöschl, 2015: Debates—Perspectives on socio-hydrology: Capturing feedbacks between physical and social processes. *Water Resources Research* 51 (6): 4770–4781. <https://doi.org/10.1002/2014WR016416>
- Elenius, M., C. Pers, S. Schützer, G. Lindström, B. Arheimer, 2025: Where can rewetting of forested peatland reduce extreme flows? Model experiment on the hydrology of Sweden. *Hydrology and Earth System Sciences* 29 (17): 4307–4325. <https://doi.org/10.5194/hess-29-4307-2025>
- Ellison, D., C.I. Speranza, 2020: From blue to green water and back again: Promoting tree, shrub and forest-based landscape resilience in the Sahel. *Science of the Total Environment* 739: 140002. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140002>
- FAO, 2020: *Global Forest Resources Assessment 2020 – Terms and Definitions*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Filoso, S., M.O. Bezerra, K.C.B. Weiss, M.A. Palmer, 2017: Impacts of forest restoration on water yield: A systematic review. *PLoS ONE* 12 (8): e0183210. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183210>
- Fischer, C., D. Rupp, D. Seidel, 2023: Distinct rainfall interception profiles among four common European tree species. *Forests* 14 (1): 144. <https://doi.org/10.3390/f14010144>
- François, M., T.R. de Aguiar, M.S. Mielke, A.N. Rousseau, D. Faria, E. Mariano-Neto, 2024: Interactions between forest cover and watershed hydrology: A conceptual meta-analysis. *Water* 16 (23): 3350. <https://doi.org/10.3390/w16233350>
- Gageler, R., M. Bonner, G. Kirchhof, M. Amos, N. Robinson, S. Schmidt, L.P. Shoo, 2014: Early response of soil properties and function to riparian rainforest restoration. *PLoS ONE* 9 (8): e104198. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104198>
- Gash, J.H.C., 1979: An analytical model of rainfall interception by forests. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 105 (443): 43–55. <https://doi.org/10.1002/qj.49710544304>
- Gregor, K., C.P.O. Reyer, T.A. Nagel, A. Mäkelä, A. Krause, T. Knoke, A. Rammig, 2024: Reconciling the EU forest, biodiversity, and climate strategies. *Global Change Biology* 30 (8): e17431. <https://doi.org/10.1111/gcb.17431>
- Helbig, N., D. Moeser, M. Teich, L. Vincent, Y. Lejeune, J.-E. Sicart, J.-M. Monnet, 2020: Snow processes in mountain forests: interception modeling for coarse-scale applications. *Hydrology and Earth System Sciences* 24: 2545–2560. <https://doi.org/10.5194/hess-24-2545-2020>
- Hornberger, G.M., J.P. Raffensperger, P.L. Wiberg, K.N. Eshleman, 1998: *Elements of Physical Hydrology*. Johns Hopkins University Press, Baltimore and London.
- Ilstedt, U., A.B. Tobella, H.R. Bazié, J. Bayala, E. Verbeeten, G. Nyberg, J. Sanou, L. Benegas, D. Murdiyarso, H. Laudon, D. Sheil, A. Malmer, 2016: Intermediate tree cover can maximize groundwater recharge in the seasonally dry tropics. *Scientific Reports* 6 (1): 1–12. <https://doi.org/10.1038/srep21930>
- IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- Jones, J., D. Ellison, S. Ferraz, A. Lara, X. Wei, Z. Zhang, 2022: Forest restoration and hydrology. *Forest Ecology and Management* 520: 120342. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120342>
- Lian, X., W. Zhao, P. Gentine, 2022: Recent global decline in rainfall interception loss due to altered rainfall regimes. *Nature Communications* 13 (1): 7642. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-35414-y>
- Ma, S., S. Zhou, B. Yu, J. Song, 2024: Deforestation-induced runoff changes dominated by forest-climate feedbacks. *Science Advances* 10 (33): eadp3964. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adp3964>
- Nedeljković, J., M. Stanišić, D. Nonić, M. Avdibegović, M. Curman, Š.P. Malovrh, 2019: Upravljanje klimatskim promjenama u šumarstvu i zaštiti prirode: institucionalni okviri u odabranim zemljama jugoistočne Europe. *Šumarski list* 143 (9–10): 445–459. <https://doi.org/10.31298/sl.143.9-10.6>
- NRC (National Research Council), 1991: *Opportunities in the hydrologic sciences*. National Academy Press, Washington.
- O'Connor, J.C., S.C. Dekker, A. Staal, O.A. Tuinenburg, K.T. Rebel, M.J. Santos, 2021: Forests buffer against variations in precipitation. *Global Change Biology* 27 (19): 4686–4696. <https://doi.org/10.1111/gcb.15763>
- Oliveira, S., J. Cunha, R.L.B. Nóbrega, J.H. Gash, F. Fernanda Valente, 2024: Enhancing global rainfall interception loss estimation through vegetation structure modelling. *Journal of Hydrology* 631: 130672. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130672>

- Pflug, E.E., B.R. Voortman, J.H.C. Cornelissen, J.-P.M. Witte, 2021: The effect of plant size and branch traits on rainfall interception of 10 temperate tree species. *Ecohydrology* 14 (7): e2349. <https://doi.org/10.1002/eco.2349>
- Pilaš, I., Š. Planinšek, 2011: Obnova vodnog režima nizinskih šuma kao potpora potrajnom gospodarenju. *Šumarski list* 135 (13): 138–148.
- Planinšek, Š., A. Ferreira, S. Japelj, 2011: A model for evaluation of the hydrological role of a forest. *Šumarski list* 135 (5–6): 257–266.
- Prpić, B., I. Milković, 2005: Rasprostranjenost poplavnih šuma u prošlosti i danas. U (Vukelić, J., S. Matić, B. Prpić, J. Gračan, I. Anić, D. Kajba, P. Vratarić, J. Dundović, ur.): *Poplavne šume u Hrvatskoj*. Akademija šumarskih znanosti, Zagreb, pp. 33–37.
- Prpić, B., 2006: Šuma i pitka voda – nezaobilazna činjenica. *Šumarski list* 130 (1–2): 1–1.
- Psistaki, K., G. Tsantopoulos, A.K. Paschalidou, 2024: An overview of the role of forests in climate change mitigation. *Sustainability* 16: 6089. <https://doi.org/10.3390/su16146089>
- Rahman, M.A., D. Armson, A.R. Ennos, A. Moser-Reischl, 2023: A comparative analysis of urban forests for storm-water management and climate regulation. *Scientific Reports* 13: 1305. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28629-6>
- Rodrigues, A.R., S. Marques, B. Botequim, B. M. Marto, J.G. Borges, 2021: Forest management for optimizing soil protection: a landscape-level approach. *Forest Ecosystems* 8: 50. <https://doi.org/10.1186/s40663-021-00324-w>
- Shiklomanov, I.A., J.C. Rodda, 2003: *World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Sivapalan, M., H.H.G. Savenije, G. Blöschl, 2012: Socio-hydrology: A new science of people and water. *Hydrological Processes* 26 (8): 1270–1276. <https://doi.org/10.1002/hyp.8426>
- Španjol, Ž., D. Barčić, R. Rosavec, B. Dorbić, 2011: Biološko-ekološko i prostorno vrednovanje zaštićenih prirodnih vrijednosti u županijama sjeverozapadne Hrvatske. *Šumarski list* 135 (1–2): 51–61.
- Tikvić, I., Z. Seletković, 2003: Utjecaj pošumljavanja krša na hidrološku funkciju šuma. *Šumarski list* 127 (13): 31–34.
- UNESCO i WMO, 1992: *International glossary of hydrology*. WMO and UNESCO, Geneva and Paris.
- UNESCO, 2020: *World Water Development Report 2020: Water and Climate Change*. UNESCO, Paris.
- Vacek, Z., S. Vacek, J. Cukor, 2023: European forests under global climate change: Review of tree growth processes, crises and management strategies. *Journal of Environmental Management* 332: 117353. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117353>
- Vertessy, R.A., H. Elsenbeer, 1999: Distributed modeling of storm flow generation in an Amazonian rain forest catchment: Effects of model parameterization. *Water Resources Research* 35 (7): 2173–2187. <https://doi.org/10.1029/1999WR900051>
- Vrbek, B., I. Pilaš, N. Pernar, 2010: Observed climate change in Croatia and its impact on the hydrology of lowlands. U (Bredermeier, M., ur.): *Forest Management and the Water Cycle — An Ecosystem-Based Approach*. Springer, Berlin, pp. 141–163.
- Wood, P.J., D.M. Hannah, J.P. Sadler (ur.), 2008: *Hydroecology and Ecohydrology: Past, Present and Future*. Wiley, Hoboken, NJ.
- Xiao, Q., E.G. McPherson, J.R. Simpson, S.L. Ustin, 2000: Winter rainfall interception by two mature open-grown trees. *Journal of Arboriculture* 26 (1): 10–20. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(200003\)14:43.3.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(200003)14:43.3.CO;2-Z)
- Zhang, M., N. Liu, R. Harper, Q. Li, K. Liu, X. Wei, D. Ning, Y. Hou, S. Liu, 2017: A global review on hydrological responses to forest change across multiple spatial scales: Importance of scale, climate, forest type and hydrological regime. *Journal of Hydrology* 546: 44–59. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.12.040>
- Zhang, M., X. Wei, 2021: Deforestation, forestation and water supply. *Science* 371 (6533): 990–991. <https://doi.org/10.1126/science.abe7821>
- Zhang, M., X. Wei, P. Sun, S. Liu, 2012: The effect of forest harvesting and climatic variability on runoff in a large watershed: the case study in the Upper Minjiang River of Yangtze River basin. *Journal of Hydrology* 464–465 (8): 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.050>
- Zinke, P.J., 1967: *Forest interception studies in the United States*. U (Sopper, W.E., H.W. Lull, ur.): *Forest Hydrology*. Pergamon Press, Oxford, pp. 137–161.

Abstract

The paper discusses the interdisciplinary nature of hydrology, emphasizing its key role in understanding and solving water-related problems. Water stands out as a basic prerequisite for life, the development of societies and ecosystems, but also as a source of potential threats in the form of floods and droughts. Climate change further intensifies these risks, which is why better water resource management is necessary. Different divisions of hydrology are presented (according to components of the hydrological cycle, research methods, applications and spatial scale) and the emergence of new fields such as ecohydrology and socio-hydrology is highlighted. They integrate natural and social processes into hydrology, exploring how the interaction of water, ecosystems and people shapes the environment and social development. Special emphasis is placed on forest hydrology. Forests, through their processes of interception, infiltration, transpiration and reduction of surface runoff, significantly affect the water balance, the regulation of hydrological extremes, erosion mitigation, flood protection and preservation of drinking water quality. Research shows that forests reduce rainfall variability, stabilize the climate and act as natural reservoirs and filters for water. At the same time, deforestation increases runoff and erosion, while afforestation can temporarily reduce water availability due to high evapotranspiration of young forests. Optimal effects depend on climate, forest type and spatial scale. The need for an integrated approach to forest and water management is emphasized, since the impacts of forests on water resources are not universally positive or negative, but depend on local conditions. Future development of forest hydrology requires interdisciplinarity, long-term data and linking scientific research with practical ecosystem management in the context of climate change.

Keywords: hydrology, forest hydrology, interception, ecohydrology, water resources management

Factors Affecting Soil CO₂ Emission in Forest Ecosystems – a Literature Overview

Velisav Karaklić*, Miljan Samardžić, Zoran Galić

University of Novi Sad, Institute of Lowland Forestry and Environment, Novi Sad, Serbia

* Corresponding author: Velisav Karaklić, e-mail: velislav.karaklic@uns.ac.rs

Abstract

In this paper, our aim is to review the factors contributing to CO₂ emissions from forest soils. Forest ecosystems play a crucial role in the global carbon cycle and they are essential for mitigating the negative impacts of climate change. Soils represent the largest reservoir of carbon in terrestrial ecosystems. Approximately 44% of the carbon within the world's forests is stored in forest soil. Ecosystem respiration encompasses both aboveground and soil respiration. In various forest types, soil respiration (CO₂ emissions from soil) can account for between 55% and 85% of total ecosystem respiration. Globally, soil CO₂ emission is one of the major sources of greenhouse gas emissions, reaching up to 100 Gt C per year. Soil temperature and moisture are the most significant factors influencing soil CO₂ emissions. One of these variables may exert a stronger influence on emissions than the other. Other important factors include soil type, soil properties, land uses (forests, grasslands, croplands, barren areas, and wetlands), land-use change, forest type, stand structure and forest management practices. Understanding how these factors impact soil CO₂ emissions in forest ecosystems is crucial in the context of climate change. Forest management is a key factor influencing emissions and can lead to various outcomes for soil CO₂ emissions in forest ecosystems. By studying the major factors affecting soil CO₂ emissions in forest ecosystems, we can better understand their role in climate change mitigation.

Keywords:

soil temperature, soil moisture, land-use change, forest management

DOI:

<https://doi.org/10.31298/sl.150.1-2.4>

How to Cite:

- Karaklić, V., M. Samardžić, Z. Galić, 2026: Factors affecting soil CO₂ emission in forest ecosystems – a literature overview. Šumarski list 150 (1–2): 35–45. <https://doi.org/10.31298/sl.150.1-2.4>



This work is licensed under a Creative Commons
Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

INTRODUCTION

Forest ecosystems play a crucial role in the global carbon cycle and they are essential for mitigating the negative effects of climate change (Kuznetsova et al. 2019). Forests store enormous amounts of carbon and any disruption in the balance between photosynthesis and ecosystem respiration can result in significant changes in the sequestration or release of CO₂ into the atmosphere (Pregitzer and Euskirchen 2004). Gross primary production (GPP) in forests, which represents the total annual photosynthesis, is estimated to be around 69 Gt of carbon per year globally. The majority of this carbon uptake is released back into the atmosphere through ecosystem respiration (Re) and wildfires (Anderson-Teixeira et al. 2021).

Net ecosystem production (NEP) is a fundamental property of an ecosystem that is defined as the difference between gross primary production and total ecosystem respiration (Lovett et al. 2006). Net primary production (NPP) is defined as the difference between GPP and the autotrophic component of ecosystem respiration (Reich et al. 1999). Ecosystem respiration includes aboveground respiration and soil respiration (Barba et al. 2018). According to Tang et al. (2008), components of ecosystem respiration involve leaf respiration, stem respiration, soil respiration, and surface litter respiration. Soil respiration is a fraction of ecosystem respiration, and it has to be lower than ecosystem respiration at annual or seasonal scales (Barba et al. 2018). Soil respiration is divided into autotrophic and heterotrophic components whose contributions to total Re vary in time and space (Tang et al. 2008).

Soil CO₂ emission can reach from 55% to 85% of total Re in various types of forests (Law et al. 1999, Davidson et al. 2006, Knohl et al. 2008). Bhanja et al. (2022) suggested that soil respiration may even contribute up to 90% of Re. The average annual soil respiration (Rs) within eighteen forest ecosystems in the European Union was $760 \pm 340 \text{ g C m}^{-2}$, representing 69% of Re (Janssens et al. 2001). The contribution of soil respiration to total Re (Rs/Re ratio) varied during different seasons in coniferous and deciduous forests (Yuste et al. 2005, Davidson et al. 2006). The highest contribution was recorded during winter and autumn, while the lowest contribution was during the period of leaf growth (Yuste et al. 2005, Davidson et al. 2006).

The total carbon stock in terrestrial ecosystems is approximately estimated to be 3170 Gt. Of this storage, about 2500 Gt (80%) is stored in soil, including organic (1550 Gt) and inorganic carbon (950 Gt) (Ontl et al. 2012). Globally, only oceans have a significantly larger carbon stock (38 400 Gt) compared to soils (Ontl et al. 2012). The global assessment of soil organic carbon content varies from 504 to 3000 Gt with a median of 1461 Gt depending on different databases of soil (Amundson 2001, Köchy et al. 2015, Beillouin et al. 2022). The assessment of soil inorganic carbon accounts for approximately 750 Gt in the top 1 m and over 2300 Gt in the top 2 m, which is nearly equal to organic carbon stock (Zamanian et al. 2021).

Approximately 860 Gt of carbon are stored in the world's forests, with 44% in soil, 42% in live biomass (both above and below ground), 8% in deadwood, and 5% in litter (Pan et al. 2011). Forests cover approximately one third of the land

in Europe, with total estimated soil carbon between 22 and 25 Gt (De Vos et al. 2015). The carbon content in forest ecosystems per unit area is higher than in other land use types (Robert 2001).

The species composition in a stand significantly affects the total carbon stock in the stand as well as the amount of organic carbon in the soil (Janssens et al. 1999, Walle et al. 2001). According to a study conducted in Austrian forests, the amount of soil organic carbon stock was higher in coniferous forests primarily composed of Norway spruce (*Picea abies* (L.) H.Karst.) than in mixed deciduous forests. The obtained results included both mineral soil (at a depth of 50 cm) and the litter layer (Jandl et al. 2021). However, Hulvey et al. (2013) suggested that carbon stock increases significantly in mixed forests compared to monoculture over a long period. There are differences in soil carbon stock between deciduous and coniferous forests, with greater differences observed within unmanaged locations compared to managed locations. Additionally, these differences depend on the development of the soil (Schulp et al. 2008, Hüblová et al. 2021, Nickels et al. 2021).

Soil respiration represents the emission of CO₂ from soil, which results from the biological activity of organisms in the soil (Phillips and Nickerson 2015). The emission of CO₂ from soil occurs through soil respiration processes involving root, microbial and faunal respiration (Lubbers et al. 2013). The agents contributing to soil CO₂ emission are autotrophic and heterotrophic organisms. (Kuzyakov 2006). In the global carbon cycle, the total flux of CO₂ from the soil is one of the largest emissions, releasing up to 100 Gt C per year (Wang et al. 2011, Chiang et al. 2021).

Soil respiration is divided into autotrophic and heterotrophic respiration. Plants are the most important autotrophs contributing to soil CO₂ emission through root respiration, while algae and chemolithotrophs have a lower contribution. The most important heterotrophic organisms in the soil can be divided into two groups: microorganisms (fungi, bacteria, actinomycetes and protozoans) and macrofauna. Microorganisms produce significantly higher amounts of CO₂ compared to macrofauna in the soil (Kuzyakov 2006, Teramoto et al. 2019). Generally, plant root respiration and the oxidation of soil organic matter through decomposition by heterotrophic soil organisms are the main sources of CO₂ production from the soil (Zhao and Shi 2017). Other important sources of soil CO₂ emissions include microbial decomposition of dead plant residues and rhizodeposits from living roots (Kuzyakov 2006).

Plant root respiration (autotrophic component of soil respiration) contributes on average up to 50% of the total soil respiration (Hanson et al. 2000). The variations in autotrophic soil respiration, ranging from 10% to 95%, depend on seasons and the type of vegetation (Kelting et al. 1998, Hanson et al. 2000, Tang and Baldocchi 2005, Wang and Yang 2007, Ferréa et al. 2012). In forests with various tree species, autotrophic respiration reaches its peak in early spring, while the heterotrophic component of soil respiration contributes over 80% during the summer (Ferréa et al. 2012). A long-term drought results in a decrease in soil respiration, primarily autotrophic respiration. This decrease is mainly attributed to reduced soil water availability (Huang et al. 2018).

Due to the significant contribution of soil respiration to ecosystem respiration as well as the importance of soil CO₂ emission in the global carbon cycle we present an overview of the literature discussing the influence of key factors on soil CO₂ emission. We will discuss the impact of the following factors on soil CO₂ emission: soil temperature and moisture, land-use and land-use change, forest type and stand structure, and forest management practices.

SOIL TEMPERATURE AND SOIL MOISTURE – KEY DRIVERS

Soil temperature and soil moisture represent the most significant factors affecting soil CO₂ emission. One of these factors may have a stronger effect on emission than the other (Fang and Moncrieff 2001, Dilustro et al. 2005, Tang et al. 2006, Li et al. 2008, Chen et al. 2013, Wei et al. 2014a, Sarzhanov et al. 2017, Teramoto et al. 2017, Prasad and Baishya 2019, Yu et al. 2021). Soil temperature is a key factor in emission and depends on radiation, exposure, soil cover, soil color and wild-fires. Soil moisture is also a very important driver of emission and depends on water-filled pore space, precipitation and drought (Oertel et al. 2016). Other important factors affecting emissions include soil type, land use (forests, grasslands, croplands, barren lands, wetlands), vegetation (age, type, distribution), nutrients, C/N ratio and pH value. Local climate has a significant impact on soil CO₂ emission, primarily through soil temperature and moisture (Oertel et al. 2016). Land use and vegetation type also strongly influence the main drivers of soil CO₂ emission (Oertel et al. 2016). Many authors suggested that the rise in soil temperature is often followed by an exponential increase in soil respiration (Han et al. 2007, Peng et al. 2009, Shen et al. 2021, Lei et al. 2022).

The temperature sensitivity of soil respiration can be explained by the Q_{10} coefficient which represents an increase in CO₂ release for every 10°C increase in temperature (Davidson and Janssens 2006, Nie et al. 2019). The estimated values of the Q_{10} coefficient for soil respiration ranged from 1.2 to 3.3 within various ecosystems (Raich and Schlesinger 1992, Chen et al. 2010, Meyer et al. 2018).

In most cases, soil CO₂ emission increases with higher soil temperature. Elevated temperatures lead to an increase in the production of soil CO₂ through autotrophic and heterotrophic respiration (Wang et al. 2010). In a forest primarily composed of Norway spruce in the Austrian Alps, a study showed that soil warming caused a rise in soil respiration. Specifically, both autotrophic and heterotrophic respiration had similar response to the increase in soil temperature (Schindlbacher et al. 2009). In a subtropical forest (China), the autotrophic and heterotrophic components had different response to soil warming. Soil warming increased soil respiration and its heterotrophic component without considerable change in soil moisture. Within experimental plots in a forest predominantly composed of red spruce (*Picea rubens* Sarg.), soil warming by 5°C induced a 25–40% increase in soil CO₂ emission compared to the control plot (Rustad and Fernandez 1998).

Drought stress can decrease soil CO₂ emission in mesic and xeric ecosystems, while in hydric ecosystems, drought stress can increase emission through stimulating soil microbial ac-

tivity (Wang et al. 2014). The autotrophic and heterotrophic components of soil respiration show different responses to climate warming and drought (Zeng et al. 2021). Generally, heterotrophic respiration is more sensitive to drought stress compared to autotrophic respiration (Unger et al. 2010, Zeng et al. 2021). However, in some ecosystems, root respiration can be more sensitive than heterotrophic respiration during long-term drought due to water stress (Wang et al. 2014).

Soil warming and increased precipitation both significantly increase CO₂ emission from soil due to elevated soil temperature and moisture which stimulate microbial activity and accelerate carbon cycling (Wu et al. 2020). After soil warming, the decomposition of organic matter was more intense in warmed soil compared to non-warmed soil. Soil warming also led to increased activity of enzymes (β -Glucosidase, Sulfatase and Chitinase) as well as microbial activity (Hou et al. 2016).

Precipitation notably affected an increase in soil water content in a subtropical forest of China. After precipitation, slight mean annual increase in soil respiration was observed in forests primarily formed of *Pinus massoniana* Lamb. (Deng et al. 2012). In the Gurbantunggut desert, the increase in precipitation could lead to higher carbon release as soil respiration linearly increased with precipitation. The increased abundance of bacteria and fungi after precipitation affects the increased release of carbon in this ecosystem (Huang et al. 2015). Precipitation likely has stronger effect on dry sites than wet sites (Zhou et al. 2009). Within nine sites along the precipitation gradient in Oklahoma (USA), a linear increase in soil CO₂ emission was recorded with an increase in precipitation (Zhou et al. 2009).

Precipitation significantly caused an increase in soil water content and soil CO₂ emission, while it decreased soil temperature within *Robinia pseudoacacia* L. plantation and *Quercus liaotungensis* Koidz. forest on the Loess Plateau in the Shaanxi province, China (Shi et al. 2011). Rewetting of dry soils usually causes a pulse in soil C and N mineralization known as the “Birch effect” (Lado-Monserrat et al. 2014). A significant variation in soil respiration was observed among ten different tree species in India. The study revealed that soil respiration was higher during the rainy season attributed to increased microbial activity during the monsoon (Rawat et al. 2021). However, a four-year study showed that soil respiration had a significantly negative correlation with precipitation in a coastal wetland in the Yellow River Delta. In this ecosystem, an increase in precipitation led to an increase in soil moisture, resulting in the reduction of soil CO₂ emissions. Additionally, anoxic conditions caused a decrease in soil CO₂ emission due to limited oxygen availability and reduced biological activities of plant roots and microorganisms (Han et al. 2018). According to Zhu et al. (2020), soil respiration showed varying responses to soil temperature and moisture during various seasons in *Populus × canadensis* Moench (*P. × euramericana* (Dode) Guinier) plantation. The study found that soil respiration increased in spring due to precipitation, but that precipitation caused reduction in soil CO₂ emission during summer and autumn, unlike during spring.

Results of an experiment conducted in northeast China (Jilin Province) showed that soil carbon stock, soil temperature, soil moisture and soil respiration variation depended on slope positions. Additionally, this study revealed that soil CO₂ emission was controlled by soil moisture during the initial 27 days of the study, while soil temperature affected emission during last 20 days (Wei et al. 2014a). The study found a strong correlation between soil temperature, soil moisture and soil respiration in forests of different successional stages in southern China. Soil CO₂ emission was considerably higher in hot humid seasons compared to cool dry seasons under the seasonal influence of soil temperature and precipitation (Tang et al. 2006). However, Tang et al. (2003) suggested that soil temperature had strong effects on soil CO₂ flux during the summer dry season in an oak-grass savanna in California (USA).

Seasonal variation in soil respiration can be explained by the interaction of soil temperature and moisture (Cui et al. 2020). Warmer and wetter soil conditions lead to increased CO₂ emission due to higher activity of plant roots and soil microorganisms (Cui et al. 2020). Additionally, seasonal variation in soil respiration in Ethiopia depended on soil temperature and moisture as well as their combined effect (Fekadu et al. 2023). In mixed pine forests, soil temperature had a strong impact on soil CO₂ emission, while soil moisture was also correlated with soil CO₂ emission during periods of water stress (Dilustro et al. 2005). Combined models including both soil temperature and moisture are better for predicting soil respiration compared to models using only soil temperature as the independent variable (Reichstein et al. 2003, Zhao et al. 2013).

THE IMPACT OF LAND-USE AND LAND-USE CHANGE ON SOIL CO₂ EMISSION

Soil carbon accumulation significantly depends on vegetation type. Land-use changes can impact the storage of soil carbon, potentially leading to either the sequestration or emission of carbon-dioxide (Poeplau and Don 2013). Deforestation and afforestation have a significant impact on soil carbon storage and climate change (Fujisaki et al. 2015).

The conversion of forests and grasslands into croplands leads to the disturbance of soil structure and induces mineralization of soil organic matter, resulting in the loss of carbon storage and an increase in soil CO₂ emission (Poeplau et al. 2011, Wei et al. 2013, Wei et al. 2014b, Fujisaki et al. 2015). Conversely, the conversion of cropland to grassland and forest leads to an increase in soil carbon stock (Poeplau et al. 2011). In general, it is observed that soil carbon stock is higher in grassland and forest compared to cropland (Wiesmeier et al. 2012, Morais et al. 2019, Ostrogović Sever et al. 2021). However, after 20 years since the conversion from grassland to forest, there was a decrease in the organic carbon stock in the soil. Additionally, after 100 years since the conversion, the soil along with the forest floor accumulated larger amounts of carbon compared to the initial period. (Poeplau et al. 2011).

The values of soil CO₂ emissions varied significantly during the assessment of greenhouse gas emissions (N₂O, NO, CO₂ and CH₄) within thirteen European sites under different land-use and climate (Schauffler et al. 2010). This study revealed that the highest CO₂ emissions were observed in grassland and wetland compared to cropland and forest. The highest soil CO₂ emission was recorded from grassland in the United Kingdom and wetland in Finland, while the lowest emission was found in the forest in Germany (Schauffler et al. 2010). Management practices within grassland in northeast China pronouncedly affected soil CO₂ emission. Within all tree management practices (mowing, grazing exclusion, and grazing), soil CO₂ emission showed a strong positive correlation with soil moisture. During a dry year, the highest values of soil CO₂ emission were observed for grazing, while in a wet year, the highest values were recorded for mowing (Gong et al. 2014). A study carried out in north-western and northern Iran across various land-uses revealed that a higher value of soil respiration was recorded in agricultural land compared to naturally covered land (Ebrahimi et al. 2019).

A study in India showed that soil respiration had higher values in cultivated land compared to forest. This study indicates that activities such as tillage and fertilization reduce soil carbon stock, as aeration enhances microbial activity and the decomposition of organic matter in croplands (Meena et al. 2020). Similar results were obtained in Mexico where decreased soil CO₂ emissions were recorded in an eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. and *E. microtheca* F.Muell.) plantation compared to other land uses (Díaz et al. 2007).

In the Hubei province (China), soil CO₂ emission reached its maximum in summer, while minimum values were observed in winter across various land use types within Acrisol and Ferralsols. The significantly higher values were recorded in paddy soil compared to orchard and forest soil (Iqbal et al. 2008). According to Anokye et al. (2021), soil organic carbon content and soil CO₂ emission varied across different land uses in Ghana. The study found that the soil carbon content was 62% lower in arable land and 23% lower in a palm plantation compared to the forest. Additionally, arable land emitted 30–46% more CO₂ than forest and palm plantation.

Land-cover change can have significant impact on soil respiration, as it alters plant species composition, vegetation structure, soil properties and microclimate (Huang et al. 2020). The most significant changes in soil CO₂ emissions occur when natural ecosystems are converted to croplands. Deforestation and the conversion of forests to croplands results in the biggest losses of carbon, as forests store enormous amounts of carbon compared to croplands. Approximately 25–30% of carbon is lost at a depth of 1 m due to soil cultivation (Houghton and Goodale 2004).

During the 2.5-year study period, it was determined that the conversion of pasture to forest reduced soil respiration by 41% (Kellman et al. 2007). In southeastern China, the conversion of secondary forest of Chinese cork oak (*Quercus variabilis* Blume) to loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantation can notably increase soil CO₂ emission and reduce temperature sensitivity of soil respiration (Shi et al. 2009). However, study comparing a 200-year-old natural forest of *Castanopsis carlesii* (Hemsl.) Hayata with two 36-year-old plantations of

Cunninghamia lanceolata (Lamb.) Hook. and *Pinus massoniana* showed that plantations had significantly lower values of soil CO₂ emission compared to natural forests (Guo et al. 2016). The age of stand and the tree species can significantly affect soil respiration. Therefore, higher values of soil respiration in a natural forest can be explained by factors such as forest floor depth, increased root biomass and abundance of soil microbial community (Guo et al. 2016).

THE IMPACT OF FOREST TYPE AND STAND STRUCTURE ON SOIL CO₂ EMISSION

Many studies suggest that forests composed of various tree species can have different responses to soil CO₂ emissions (Wang et al. 2006, Bréchet et al. 2009, Vesterdal et al. 2012, Akburak and Makineci 2013, Li et al. 2017, Rawat et al. 2021). Soil carbon stock is controlled by the balance between carbon input from litterfall and carbon loss through decomposition, which is related to the heterotrophic component of soil respiration. Tree species can affect both of these fluxes (Vesterdal et al. 2012).

In the tropical forest, there were significant differences in soil CO₂ emissions between stands of the same age composed of different tree species (Bréchet et al. 2009). This study showed that the variation in soil respiration was related to the quantity and quality of litterfall as well as the basal area. There was no significant relationship between soil respiration and root biomass (Bréchet et al. 2009). Soil respiration pronouncedly depends on vegetation type, soil carbon stock, soil temperature and soil moisture in six different stands composed of different tree species in northeastern China. This study showed that annual soil respiration was 72% higher in a deciduous forest than in a coniferous forest (Wang et al. 2006). However, the values of soil respiration were higher below the canopy of pine compared to oak and ash in a 300-year-old mixed stand of *Pinus koraiensis* Siebold et Zucc., *Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb. and *Fraxinus mandshurica* Rupr. Lower nitrogen concentration and a higher C/N ratio result in slower decomposition and decreased heterotrophic component of soil respiration under pine unlike ash and oak. The autotrophic component of soil respiration was dominant under pine, while the heterotrophic component was dominant under ash and oak (Li et al. 2017).

In forest ecosystems, the impact of stand age on soil respiration varies among different studies (Wiseman and Seiler 2004). There are studies that indicate soil CO₂ emission increase with stand age, while other studies suggest that emission decrease with stand age. The authors provided various explanations for each scenario (Klopatek 2002, Wiseman and Seiler 2004, Saiz et al. 2006, Tedeschi et al. 2006, Zhao et al. 2016, Gao et al. 2019, Yu et al. 2019, Karaklić et al. 2024).

A study conducted in four differently aged stands (10-, 15-, 31-, and 47-year-old stands) of Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carrière) found that the highest soil respiration was observed in the younger stands. More precisely, soil respiration decreased with stand age due to a decrease in fine

root biomass. Soil respiration in older stands was relatively uniform (Saiz et al. 2006). Root respiration decreases with stand age, but this decline is compensated by increased decomposition of accumulated organic matter. The decrease in the autotrophic component of total soil respiration in older stands can be attributed to higher root activity in younger stands (Saiz et al. 2006). Similar results were obtained in 20- and 40-year-old Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco) stands (Klopatek 2002), 5- and 15- year-old poplar plantations (Gong et al. 2012) and 45- and 25-year-old ponderosa pine (*Pinus ponderosa* Douglas ex P. Lawson et C. Lawson) stand (Law et al. 1999). In *Pinus banksiana* Lamb. stands, soil respiration was highest in an 8-year-old stand and decreased with stand age (Striegl and Wickland 2001). Furthermore, a decrease in soil respiration was also observed with increasing stand age in *Pinus tabulaeformis* Carrière, *Populus davidiana* Dode and coppiced *Quercus cerris* L. stands (Tedeschi et al. 2006, Zhao et al. 2016). In the coppiced *Quercus cerris* forest, the decrease in soil respiration was estimated at 24% for a 20-year-rotation period (Tedeschi et al. 2006). Additionally, these authors suggested that sensitivity of soil respiration to soil temperature decreased with stand age, or, more precisely, that soil temperature had stronger effect in young stands (Tedeschi et al. 2006). The study conducted in Serbia showed that a 4-year-old pedunculate oak (*Quercus robur* L.) stand had significantly higher soil CO₂ emission compared to a 70-year-old stand (Karaklić et al. 2024). The increased soil CO₂ emissions in younger stands can be attributed to a higher bacteria/fungi ratio, the active physiological processes of fine roots, and elevated soil temperatures. These factors lead to loss of soil carbon and increased CO₂ emission from the soil (Zhao et al. 2016).

However, Wiseman and Seiler (2004) noted that soil CO₂ emission increased with stand age in *Pinus taeda* plantations primarily due to the greater root biomass in older stands that respire. A study conducted in stands of four different age stands (8-, 17-, 27-, and 36-year-old stands) showed that soil respiration increased from younger to older stands. Furthermore, the increase in soil temperature was followed by an exponential increase in soil respiration (Yu et al. 2019). According to Gao et al. (2019), the highest values of soil respiration were recorded in a 49-year-old *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg. plantation, while the lowest values were recorded in a 12-year-old plantation. In *Pinus massoniana* plantations, the increase in soil CO₂ emission with stand age is explained by quality of soil carbon stock and volume of root biomass (Yu et al. 2019). The increased CO₂ emissions from the soil in mature forest stands can be attributed to the greater biomass of roots, higher amount of litterfall, and larger abundance of microorganisms compared to younger stands (Guo et al. 2016).

Unlike previous studies, stand age did not have a notable impact on soil respiration in *Larix gmelinii* var. *principis-rupprechtii* (Mayr) Pilg. (*L. principis-rupprechtii* Mayr) plantations (Ma et al. 2014).

THE IMPACT OF FOREST MANAGEMENT PRACTICES AND NUTRIENT ADDITION ON SOIL CO₂ EMISSION

Forest harvesting can significantly affect carbon storage, and this influence is related to soil type, species composition and time since harvest. Compared to mineral soil, carbon stored in forest floors is more susceptible to loss due to harvest (Nave et al. 2010). Unmanaged forests generally contain a larger amount of soil carbon, while the degradation of forests and their conversion to cropland lead to significant losses in carbon storage in the topsoil (Mayer et al. 2020). Site preparation for afforestation and reforestation can cause soil disturbance, particularly in the organic topsoil, leading to a decrease in soil carbon stock (Mayer et al. 2020). Burning and fire can cause significant losses of soil carbon stock, especially in the forest floor (Jonson et al. 1992).

Regeneration cutting and thinning in forests lead to notable changes in aboveground carbon stock, while their effects on soil CO₂ emissions vary (Peng et al. 2008). Some studies suggest that harvesting increases soil respiration (Lytle and Cronan 1998, He et al. 2018), while others indicate that harvesting causes a reduction in soil respiration (Striegl and Wickland 1998, Bautista et al. 2021). Additionally, there are studies where forest harvesting did not have an effect on soil CO₂ emission (Johnson and Curtis 2001, Pang et al. 2013). The authors provided different explanations for each scenario. The factors affecting variation in soil respiration include stand age, species composition and the length of time after harvest (Peng et al. 2008).

Fertilisation and thinning were carried out in a poplar (*Populus trichocarpa* Torr. et Gray ex Hook.) plantation. The study showed that fertilisation increased soil respiration, while soil respiration decreased with increasing thinning intensity (Jonsson et al. 2010). Although, all thinned trees were left on site following thinning, it was expected that heterotrophic respiration would increase. However, the decrease in autotrophic respiration had a greater effect than the anticipated increase in the heterotrophic component of soil respiration (Jonsson et al. 2010). The thinning generally leads to a decline in soil respiration. This was shown in a study conducted in two different plantations of *Quercus rotundifolia* Lam. (*Q. ilex* subsp. *ballota* (Desf.) Samp.) and *Pinus halepensis* Mill. in eastern Spain (Bautista et al. 2021). Similar results were obtained in *Pinus ponderosa* plantations (Tang et al. 2005). Soil respiration was measured before and after thinning, when 30% of the biomass was removed. Thinning significantly affected the decrease in soil respiration by 13%. This is likely related to root density affecting the autotrophic component of soil respiration (Tang et al. 2005). The influence of thinning on soil CO₂ emission directly depends on the effects of thinning, such as reduced plant biomass and decreased root respiration. Additionally, thinning results in an increase in plant residues, leading to an increase in the heterotrophic components of soil respiration (Bautista et al. 2021). The impact of thinning on soil respiration is complex, affecting changes in soil temperature, soil moisture, root respiration, microbial respiration and decomposition of dead plant residues. Changes in canopy coverage lead to changes in temperature and precipitation (Tang et al. 2005). Thinning indi-

rectly affects microclimate conditions which can accelerate the decomposition of organic matter (Bautista et al. 2021).

Light thinning (20%), medium thinning (30%) and high thinning (40%) are conducted in pine (*Pinus tabulaeformis*) plantations. Soil respiration increased with thinning intensity in these plantations. Soil respiration increased by 8–21% in thinned plantations compared to unthinned plantations (Cheng et al. 2014). After 6–8 years, high thinning (60%) reduced soil respiration, on average, by 24.56% in plantations of the same species (Yang et al. 2022). Fifteen years after thinning, soil respiration significantly increased with increasing thinning intensity, while soil carbon stock decreased in *Picea crassifolia* Kom. plantations (He et al. 2018). The negative effects of thinning in these plantations include reduced soil carbon storage and accelerated organic matter decomposition due to higher temperatures. Additionally, thinning led to a significant increase in bulk density and soil pH, while thinning decreased nitrogen and C/N ratio (He et al. 2018).

Soil respiration was measured in 50-year-old *Larix kaempferi* (Lam.) Carrière stands. After six months, the results showed that there were no differences in soil respiration between thinned and unthinned stands, while soil temperature was significantly higher in thinned stand (Masyagina et al. 2010). Similar results were obtained in thinned and unthinned plots within pine plantations (*Pinus tabulaeformis* and *P. armandii* Franch.) (Pang et al. 2013).

The application of pesticides is necessary for the successful regeneration of pedunculate oak stands. During the regeneration of pedunculate oak, the experimental plots treated with pesticides showed a more pronounced increase in soil CO₂ emissions with rising soil moisture in the summer period compared to the control plot (Karaklić et al. 2023). The application of pesticides likely stimulated microbial activity, leading to an increase in soil CO₂ emissions (Araújo et al. 2003, Karaklić et al. 2023). Additionally, Karaklić et al. (2024) pointed out that an artificially regenerated stand of pedunculate oak had significantly higher values of soil CO₂ emissions compared to a natural middle-aged stand. Also, environmental variables such as soil moisture and temperature had different influence on soil respiration through various seasons within managed and unmanaged parts of the pedunculate oak forest (Galić et al. 2024).

Nitrogen addition significantly decreased soil respiration in 21-year-old *Larix gmelinii* var. *principis-rupprechtii* plantations (Sun et al. 2014). Soil respiration was reduced by 12.5% under a nitrogen treatment of 5 g N ha⁻¹ (Sun et al. 2014), while a nitrogen treatment of 15 g N m⁻² caused a 14% reduction in soil respiration within a mature tropical forest (Mo et al. 2008).

A low level of nitrogen addition can stimulate soil respiration, while high level can decrease it (Zhu et al. 2016, Zhou et al. 2019). Additionally, nitrogen addition in a subtropical secondary forest in China caused a reduction of both components of soil respiration (Zhang et al. 2021). Autotrophic and heterotrophic components of soil respiration exhibited different responses to nitrogen addition, with the autotrophic component decreasing more than the heterotrophic component in an alpine meadow on Gelic Cambisol (Wang et al. 2019). Three-year field experiment showed that soil

respiration was stimulated by nitrogen fertilization during normal rainfall years. However, the results of this experiment also showed that nitrogen fertilisation did not have significant effect on soil respiration during a wet year, because extreme rainfall inhibited both components of soil respiration (Chen et al. 2017).

Phosphorus addition in a eucalyptus forest (*Eucalyptus pauciflora* Sieber ex Spreng.) caused an 8% reduction in soil respiration (Keith et al. 1997). The effect of phosphorus and nitrogen on soil respiration varies when added separately compared to when added in combination (Ren et al. 2016). Phosphorus addition had various effects on soil respiration in a subtropical secondary forest in China. However, the combined effect of nitrogen and phosphorus caused an increase in soil respiration (Zhang et al. 2021).

CONCLUSION

Soil CO₂ emission is crucial in the global carbon cycle, as it can reach up to two thirds of total ecosystem respiration in forest ecosystems. Soil temperature and moisture are the key factors driving soil CO₂ emissions, and their effects vary depending on factors such as soil cover, precipitation, radiation, season and climate zones. Models that combine both soil temperature and moisture are more effective in predicting soil CO₂ emission than models that use only soil temperature or moisture as independent variables. Drought usually increases soil CO₂ emission in hydric ecosystems, whereas in xeric and mesic ecosystems, drought can reduce emission. The effect of drought on the autotrophic and heterotrophic components of soil respiration can vary in different forest ecosystems.

Land-use change modifies the composition of plant species, vegetation structure, soil properties and microclimate. It can have a substantial effect on soil CO₂ emission. The conversion of forests to croplands leads to the disturbance of soil structure and induces mineralization of soil organic matter, resulting in the loss of carbon storage and an increase in soil CO₂ emission. The varying responses of soil CO₂ emissions under different tree species can be attributed to the varying contributions of autotrophic and heterotrophic components of soil respiration.

Studies indicate that soil CO₂ emission increases with stand age. The increased CO₂ emissions from the soil in older forest stands can be attributed to the greater biomass of roots that respire as well as a higher amount of litterfall and a larger abundance of microorganisms compared to younger stands. However, in some studies, a decrease in soil CO₂ emission with stand age is explained by a higher bacteria/fungi ratio, the active physiological processes of fine roots, and elevated soil temperatures.

Forest management practices can alter microclimatic conditions within a stand, leading to shifts in soil temperature and moisture that directly and significantly impact soil CO₂ emissions. Thinning can lead to a decline in soil CO₂ emission due to a decrease in the autotrophic component of soil respiration. However, some studies suggest that thinning may actually cause an increase in soil CO₂ emission, potentially due to accelerated organic matter decomposition resulting from higher temperatures.

ACKNOWLEDGMENT

This paper was supported by the Ministry of Science, Technological Development, and Innovation of the Republic of Serbia (Grants No. 451-03-136/2025-03/200197).

REFERENCES

- Akburak, S., E. Makineci, 2013: Temporal changes of soil respiration under different tree species. *Environmental Monitoring and Assessment* 185: 3349–3358. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2795-6>
- Amundson, R., 2001: The carbon budget in soils. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 29 (1): 535–562. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.29.1.535>
- Anderson-Teixeira, K.J., V. Herrmann, R.B. Morgan, B. Bond-Lamberty, S.C. Cook-Patton, A.E. Ferson, H.C. Muller-Landau, M.M. Wang, 2021: Carbon cycling in mature and regrowth forests globally. *Environmental Research Letters* 16 (5): 053009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abed01>
- Anokye, J., V. Logah, A. Opoku, 2021: Soil carbon stock and emission: estimates from three land-use systems in Ghana. *Ecological Processes* 10 (1): 11. <https://doi.org/10.1186/s13717-020-00279-w>
- Araújo F.S.A., R.T.R. Monteiro, R.B. Abarkeli, 2003: Effect of glyphosate on the microbial activity of two Brazilian soils. *Chemosphere* 52: 799–804. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00266-2](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00266-2)
- Barba, J., A. Cueva, M. Bahn, G.A. Barron-Gafford, B. Bond-Lamberty, P.J. Hanson, A. Jaimes, L. Kulmala, J. Pumpanen, R.L. Scott, G. Wohlfahrt, R. Vargas, 2018: Comparing ecosystem and soil respiration: Review and key challenges of tower-based and soil measurements. *Agricultural and Forest Meteorology* 249: 434–443. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.10.028>
- Bautista, I., A. Lidón, C. Lull, M. González-Sanchis, A.D. del Campo, 2021: Thinning decreased soil respiration differently in two dryland Mediterranean forests with contrasted soil temperature and humidity regimes. *European Journal of Forest Research* 140: 1469–1485. <https://doi.org/10.1007/s10342-021-01413-9>
- Beillouin, D., J. Demenois, R. Cardinael, D. Berre, M. Corbeels, A. Fallot, A. Boyer, F. Feder, 2022: A global database of land management, land-use change and climate change effects on soil organic carbon. *Scientific Data* 9 (1): 228. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01318-1>
- Bhanja, S.N., J. Wang, R. Bol, 2022: Soil CO₂ emission largely dominates the total ecosystem CO₂ emission at Canadian boreal forest. *Frontiers in Environmental Science* 10: 898199. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.898199>
- Bréchet, L., S. Ponton, J. Roy, V. Freycon, M.M. Couëtaux, D. Bonal, D. Epron, 2009: Do tree species characteristics influence soil respiration in tropical forests? A test based on 16 tree species planted in monospecific plots. *Plant and Soil* 319: 235–246. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9866-z>
- Chen, W., X. Jia, T. Zha, B. Wu, Y. Zhang, C. Li, X. Wang, G. He, H. Yu, G. Chen, 2013: Soil respiration in a mixed urban forest in China in relation to soil temperature and water content. *European Journal of Soil Biology* 54: 63–68. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2012.10.001>
- Chen, X., J. Tang, L. Jiang, B. Li, J. Chen, C. Fang, 2010: Evaluating the impacts of incubation procedures on estimated Q₁₀ values of soil respiration. *Soil Biology and Biochemistry* 42 (12): 2282–2288. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.08.030>
- Chen, Z., Y. Xu, X. Zhou, J. Tang, Y. Kuzyakov, H. Yu, J. Fan, W. Ding, 2017: Extreme rainfall and snowfall alter responses of soil respiration to nitrogen fertilization: a 3-year field experiment. *Global Change Biology* 23 (8): 3403–3417. <https://doi.org/10.1111/gcb.13620>
- Cheng, X., H. Han, F. Kang, K. Liu, Y. Song, B. Zhou, Y. Li, 2014: Short-term effects of thinning on soil respiration in a pine (*Pinus tabulaeformis*) plantation. *Biology and Fertility of Soils* 50: 357–367. <https://doi.org/10.1007/s00374-013-0852-0>
- Chiang, P.N., J.C. Yu, Y.J. Lai, 2021: Soil respiration variation among four tree species at young afforested sites under the influence of frequent typhoon occurrences. *Forests* 12 (6): 787. <https://doi.org/10.3390/f12060787>
- Cui, Y.B., J.G. Feng, L.G. Liao, R. Yu, X. Zhang, Y.H. Liu, L.Y. Yang, J.F. Zhao, Z.H. Tan, 2020: Controls of temporal variations on soil respiration in a tropical lowland rainforest in Hainan Island, China.

Tropical Conservation Science 13: 1940082920914902. <https://doi.org/10.1177/1940082920914902>

- Davidson, E.A., A.D. Richardson, K.E. Savage, D.Y. Hollinger, 2006: A distinct seasonal pattern of the ratio of soil respiration to total ecosystem respiration in a spruce-dominated forest. *Global Change Biology* 12 (2): 230–239. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01062.x>
- Davidson, E.A., I.A. Janssens, 2006: Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature* 440 (7081): 165–173. <https://doi.org/10.1038/nature04514>
- De Vos, B., N. Cools, H. Ilvesniemi, L. Vesterdal, E. Vanguelova, S. Carnicelli, 2015: Benchmark values for forest soil carbon stocks in Europe: Results from a large scale forest soil survey. *Geoderma* 251: 33–46. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.03.008>
- Deng, Q., D. Hui, D. Zhang, G. Zhou, J. Liu, S. Liu, G. Chu, J. Li, 2012: Effects of precipitation increase on soil respiration: a three-year field experiment in subtropical forests in China. *PLoS One* 7 (7): e41493. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0041493>
- Díaz, M.I.Y., I.C. Silva, H.G. Rodríguez, J.G.M. Monsiváis, E. Jurado, M.V.G. Meza, 2017: Soil respiration in four land use systems. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 8 (42): 123–149.
- Dilustro, J.J., B. Collins, L. Duncan, C. Crawford, 2005: Moisture and soil texture effects on soil CO₂ efflux components in southeastern mixed pine forests. *Forest Ecology and Management* 204 (1): 87–97. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.09.001>
- Ebrahimi, M., M.R. Sarikhani, A.A.S. Sinegani, A. Ahmadi, S. Keesstra, 2019: Estimating the soil respiration under different land uses using artificial neural network and linear regression models. *Catena* 174: 371–382. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.11.035>
- Fang, C., J.B. Moncrieff, 2001: The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. *Soil Biology and Biochemistry* 33 (2): 155–165. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00125-5](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00125-5)
- Fekadu, G., E. Adgo, D.T. Meshesha, A. Tsunekawa, N. Haregeweyn, F. Peng, M. Tsubo, T. Masunaga, A. Tassew, T. Muluaalem, S. Demissie, 2023: Seasonal and diurnal soil respiration dynamics under different land management practices in the sub-tropical highland agroecology of Ethiopia. *Environmental Monitoring and Assessment* 195 (1): 65. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10705-5>
- Ferréa, C., T. Zenone, R. Comolli, G. Seufert, 2012: Estimating heterotrophic and autotrophic soil respiration in a semi-natural forest of Lombardy, Italy. *Pedobiologia* 55 (6): 285–294. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2012.05.001>
- Fujisaki, K., A.S. Perrin, T. Desjardins, M. Bernoux, L.C. Balbino, M. Brosard, 2015: From forest to cropland and pasture systems: a critical review of soil organic carbon stocks changes in Amazonia. *Global Change Biology* 21 (7): 2773–2786. <https://doi.org/10.1111/gcb.12906>
- Galić, Z., V., Karaklić, S.B. Marković, A. Kiš, M. Samardžić, 2024: Forest soil CO₂ emission in *Quercus robur* level II monitoring site. *Open Geosciences* 16 (1): 20220723. <https://doi.org/10.1515/geo-2022-0723>
- Gao, J., Y. Zhang, Q. Song, Y. Lin, R. Zhou, Y. Dong, L. Zhou, J. Li, Y. Jin, W. Zhou, Y. Liu, L. Sha, J. Grace, N. Liang, 2019: Stand age-related effects on soil respiration in rubber plantations (*Hevea brasiliensis*) in southwest China. *European Journal of Soil Science* 70 (6): 1221–1233. <https://doi.org/10.1111/ejss.12854>
- Gong, J.R., Y. Wang, M. Liu, Y. Huang, X. Yan, Z. Zhang, W. Zhang, 2014: Effects of land use on soil respiration in the temperate steppe of Inner Mongolia, China. *Soil and Tillage Research* 144: 20–31. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.06.002>
- Gong, J., Z. Ge, R. An, Q. Duan, X. You, Y. Huang, 2012: Soil respiration in poplar plantations in northern China at different forest ages. *Plant and Soil* 360: 109–122. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-1121-3>
- Guo, J., Z. Yang, C. Lin, X. Liu, G. Chen, Y. Yang, 2016: Conversion of a natural evergreen broadleaved forest into coniferous plantations in a subtropical area: effects on composition of soil microbial communities and soil respiration. *Biology and Fertility of Soils* 52 (6): 799–809. <https://doi.org/10.1007/s00374-016-1120-x>
- Han, G., B. Sun, X. Chu, Q. Xing, W. Song, J. Xia, 2018: Precipitation events reduce soil respiration in a coastal wetland based on four-year continuous field measurements. *Agricultural and Forest Meteorology* 256: 292–303. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.03.018>
- Han, G., G. Zhou, Z. Xu, Y. Yang, J. Liu, K. Shi, 2007: Soil temperature and biotic factors drive the seasonal variation of soil respiration in a maize (*Zea mays* L.) agricultural ecosystem. *Plant and Soil* 291 (1–2): 15–26. <https://doi.org/10.1007/s11104-006-9170-8>
- Hanson, P.J., N.T. Edwards, C.T. Garten, J.A. Andrews, 2000: Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: a review of methods and observations. *Biogeochemistry* 48: 115–146. <https://doi.org/10.1023/A:1006244819642>
- He, Z.B., L.F. Chen, J. Du, X. Zhu, P.F. Lin, J. Li, Y.Z. Xiang, 2018: Responses of soil organic carbon, soil respiration, and associated soil properties to long-term thinning in a semiarid spruce plantation in northwestern China. *Land Degradation & Development* 29 (12): 4387–4396. <https://doi.org/10.1002/ldr.3196>
- Hou, R., Z. Ouyang, D. Maxim, G. Wilson, Y. Kuzyakov, 2016: Lasting effect of soil warming on organic matter decomposition depends on tillage practices. *Soil Biology and Biochemistry* 95: 243–249. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.12.008>
- Houghton, R.A., C.L. Goodale, 2004: Effects of land-use change on the carbon balance of terrestrial ecosystems. *Ecosystems and Land Use Change* 153: 85–98. <https://doi.org/10.1029/153GM08>
- Huang, G., Y. Li, Y.G. Su, 2015: Effects of increasing precipitation on soil microbial community composition and soil respiration in a temperate desert, Northwestern China. *Soil Biology and Biochemistry* 83: 52–56. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.01.007>
- Huang, N., L. Wang, X.P. Song, T.A. Black, R.S. Jassal, R.B. Myneni, C. Wu, L. Wang, W. Song, D. Ji, S. Yu, Z. Niu, 2020: Spatial and temporal variations in global soil respiration and their relationships with climate and land cover. *Science Advances* 6 (41): eabb8508. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abb8508>
- Huang, S., G. Ye, J. Lin, K. Chen, X. Xu, H. Ruan, F. Tan, H.Y. Chen, 2018: Autotrophic and heterotrophic soil respiration responds asymmetrically to drought in a subtropical forest in the Southeast China. *Soil Biology and Biochemistry* 123: 242–249. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.04.029>
- Hüblová, L., J. Frouz, 2021: Contrasting effect of coniferous and broad-leaf trees on soil carbon storage during reforestation of forest soils and afforestation of agricultural and post-mining soils. *Journal of Environmental Management* 290: 112567. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112567>
- Hulvey, K.B., R.J. Hobbs, R.J. Standish, D.B. Lindenmayer, L. Lach, M.P. Perring, 2013: Benefits of tree mixes in carbon plantings. *Nature Climate Change* 3 (10): 869–874. <https://doi.org/10.1038/nclimate1862>
- Iqbal, J., H. Ronggui, D. Lijun, L. Lan, L. Shan, C. Tao, R. Leilei, 2008: Differences in soil CO₂ flux between different land use types in mid-subtropical China. *Soil Biology and Biochemistry* 40 (9): 2324–2333. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.05.010>
- Jandl, R., T. Ledermann, G. Kindermann, P. Weiss, 2021: Soil organic carbon stocks in mixed-deciduous and coniferous forests in Austria. *Frontiers in Forests and Global Change* 4: 68885. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.688851>
- Janssens, I.A., D.A. Sampson, J. Cermak, L. Meiresonne, F. Riguzzi, S. Overloop, R. Ceulemans, 1999: Above- and belowground phytomass and carbon storage in a Belgian Scots pine stand. *Annals of Forest Science* 56 (2): 81–90. <https://doi.org/10.1051/forest:19990201>
- Janssens, I.A., H. Lankreijer, G. Matteucci, A.S. Kowalski, N. Buchmann, D. Epron, K. Pilegaard, W. Kutsch, B. Longdoz, T. Grünwald, L. Montagnani, S. Dore, C. Rebmann, E.J. Moors, A. Grelle, Ü. Rannik, K. Morgenstern, S. Oltchev, R. Clement, J. Guðmundsson, S. Minerbi, P. Berbigier, A. Ibrom, J. Moncrieff, M. Aubinet, C. Bernhofer, N.O. Jensen, T. Vesala, E. Grainer, E.D. Schulze, A. Lindroth, A.J. Dolman, P.G. Jarvis, R. Ceulemans, R. Valentini, R. 2001: Productivity overshadows temperature in determining soil and ecosystem respiration across European forests. *Global Change Biology* 7 (3): 269–278. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2001.00412.x>
- Johnson, D.W., 1992: Effects of forest management on soil carbon storage. *Water Air Soil Pollution* 64 (1): 83–120. <https://doi.org/10.1007/BF00477097>
- Johnson, D.W., P.S. Curtis, 2001: Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis. *Forest Ecology and Management* 140 (2–3): 227–238. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00282-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00282-6)
- Jónsson, J.Á., B.D. Sigurðsson, 2010: Effects of early thinning and fertilization on soil temperature and soil respiration in a poplar plantation. *Icelandic Agricultural Sciences* 23: 97–109.
- Karaklić, V., M. Samardžić, S. Orlović, M. Zorić, L. Kesić, N. Perendija, Z. Galić, 2024: Effect of stand age on soil CO₂ emissions in pedunculate oak (*Quercus robur* L.) forests. *Forests* 15 (9): 1574. <https://doi.org/10.3390/f15091574>

- Karaklić, V., Z. Galić, M. Samardžić, L. Kesić, S. Orlović, M. Zorić, 2023: Carbon dioxide (CO₂) emissions from soils during the regeneration of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) stand in the summer period. *Šumarski list* 147 (5–6): 227–237. <https://doi.org/10.31298/sl.147.5-6.3>
- Keith, H., K.L. Jacobsen, R. Raison, 1997: Effects of soil phosphorus availability, temperature and moisture on soil respiration in *Eucalyptus pauciflora* forest. *Plant and Soil* 190: 127–141. <https://doi.org/10.1023/A:1004279300622>
- Kellman, L., H. Beltrami, D. Risk, 2007: Changes in seasonal soil respiration with pasture conversion to forest in Atlantic Canada. *Biogeochemistry* 82: 101–109. <https://doi.org/10.1007/s10533-006-9056-0>
- Kelting, D.L., J.A. Burger, G.S. Edwards, 1998: Estimating root respiration, microbial respiration in the rhizosphere, and root-free soil respiration in forest soils. *Soil Biology and Biochemistry* 30 (7): 961–968. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(97\)00186-7](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(97)00186-7)
- Klopatek, J.M., 2002: Belowground carbon pools and processes in different age stands of Douglas-fir. *Tree Physiology* 22 (2–3): 197–204. <https://doi.org/10.1093/treephys/22.2-3.197>
- Knohl, A., A.R. Sørensen, W.L. Kutsch, M. Göckede, N. Buchmann, 2008: Representative estimates of soil and ecosystem respiration in an old beech forest. *Plant and Soil* 302: 189–202. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9467-2>
- Köchy, M., R. Hiederer, A. Freibauer, 2015: Global distribution of soil organic carbon—Part 1: Masses and frequency distributions of SOC stocks for the tropics, permafrost regions, wetlands, and the world. *Soil* 1 (1): 351–365. <https://doi.org/10.5194/soil-1-351-2015>
- Kuznetsova, A.I., N.V. Lukina, E.V. Tikhonova, A.V. Gornov, M.V. Gornova, V.E. Smirnov, A.P. Geraskina, N.E. Shevchenko, D.N. Tebenkova, S.I. Chumachenko, 2019: Carbon stock in sandy and loamy soils of coniferous–broadleaved forests at different succession stages. *Eurasian Soil Science* 52: 756–768. <https://doi.org/10.1134/S1064229319070081>
- Lado-Monserat, L., C. Lull, I. Bautista, A. Lidón, R. Herrera, 2014: Soil moisture increment as a controlling variable of the “Birch effect”. Interactions with the pre-wetting soil moisture and litter addition. *Plant and Soil* 379: 21–34. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2037-5>
- Law, B.E., M.G. Ryan, P.M. Anthoni, 1999: Seasonal and annual respiration of a ponderosa pine ecosystem. *Global Change Biology* 5 (2): 169–182. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.1999.00214.x>
- Lei, N., H. Wang, Y. Zhang, T. Chen, 2022: Components of respiration and their temperature sensitivity in four reconstructed soils. *Scientific Reports* 12 (1): 6107. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09918-y>
- Li, H.J., J.X. Yan, X.F. Yue, M.B. Wang, 2008: Significance of soil temperature and moisture for soil respiration in a Chinese mountain area. *Agricultural and Forest Meteorology* 148 (3): 490–503.
- Li, W., Z. Bai, C. Jin, X. Zhang, D. Guan, A. Wang, F. Yuan, J. Wu, 2017: The influence of tree species on small scale spatial heterogeneity of soil respiration in a temperate mixed forest. *Science of the Total Environment* 590: 242–248. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.229>
- Lovett, G.M., J.J. Cole, M.L. Pace, 2006: Is net ecosystem production equal to ecosystem carbon accumulation? *Ecosystems* 9: 152–155. <https://doi.org/10.1007/s10021-005-0036-3>
- Lubbers, I.M., K.J. Van Groenigen, S.J. Fonte, J. Six, L. Brussaard, J.W. Van Groenigen, 2013: Greenhouse-gas emissions from soils increased by earthworms. *Nature Climate Change* 3 (3): 187–194. <https://doi.org/10.1038/nclimate1692>
- Ma, Y., S. Piao, Z. Sun, X. Lin, T. Wang, C. Yue, Y. Yang, 2014: Stand ages regulate the response of soil respiration to temperature in a *Larix principis-rupprechtii* plantation. *Agricultural and Forest Meteorology* 184: 179–187. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.10.008>
- Masyagina, O.V., S.G. Prokushkin, T. Koike, 2010: The influence of thinning on the ecological conditions and soil respiration in a larch forest on Hokkaido Island. *Eurasian Soil Science* 43: 693–700. <https://doi.org/10.1134/S1064229310060104>
- Mayer, M., C.E. Prescott, W.E. Abaker, L. Augusto, L. Cécillon, G.W. Ferreira, J. James, R. Jandl, K. Katzensteiner, J. Laclau, J. Laganère, Y. Nouvellon, D. Paré, J.A. Stanturf, E.I. Vanguelova, L. Vesterdal, 2020: Tamm Review: Influence of forest management activities on soil organic carbon stocks: A knowledge synthesis. *Forest Ecology and Management* 466: 118127. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118127>
- Meena, A., M. Hanief, J. Dinakaran, K.S. Rao, 2020: Soil moisture controls the spatio-temporal pattern of soil respiration under different land use systems in a semi-arid ecosystem of Delhi, India. *Ecological Processes* 9 (1): 15. <https://doi.org/10.1186/s13717-020-0218-0>
- Meyer, N., G. Welp, W. Amelung, 2018: The temperature sensitivity (Q₁₀) of soil respiration: Controlling factors and spatial prediction at regional scale based on environmental soil classes. *Global Biogeochemical Cycles* 32 (2): 306–323. <https://doi.org/10.1002/2017GB005644>
- Mo, J., W.E.I. Zhang, W. Zhu, P.E.R. Gundersen, Y. Fang, D. Li, H.U.I. Wang, 2008: Nitrogen addition reduces soil respiration in a mature tropical forest in southern China. *Global Change Biology* 14 (2): 403–412. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01503.x>
- Morais, T.G., R.F. Teixeira, T. Domingos, 2019: Detailed global modelling of soil organic carbon in cropland, grassland and forest soils. *PloS One* 14 (9): e0222604. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222604>
- Nave, L.E., E.D. Vance, C.W. Swanston, P.S. Curtis, 2010: Harvest impacts on soil carbon storage in temperate forests. *Forest Ecology and Management* 259 (5): 857–866. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.12.009>
- Nickels, M.C., C.E. Prescott, 2021: Soil carbon stabilization under coniferous, deciduous and grass vegetation in post-mining reclaimed ecosystems. *Frontiers in Forests and Global Change* 4: 689594. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.689594>
- Nie, C., Y. Li, L. Niu, Y. Liu, R. Shao, X. Xu, Y. Tian, 2019: Soil respiration and its Q₁₀ response to various grazing systems of a typical steppe in Inner Mongolia, China. *PeerJ* 7: e7112. <http://dx.doi.org/10.7717/peerj.7112>
- Oertel, C., J. Matschulat, K. Zurba, F. Zimmermann, S. Erasmí, 2016: Greenhouse gas emissions from soils – A review. *Geochemistry* 76 (3): 327–352. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2016.04.002>
- Ontl, T.A., L.A. Schulte, 2012: Soil carbon storage. *Nature Education Knowledge* 3 (10): 35.
- Ostrogović Sever, M.Z., Z. Barcza, D. Hidy, A. Kern, D. Dimoski, S. Miko, O. Hasan, B. Grahovac, H. Marjanović, 2021: Evaluation of the terrestrial ecosystem model biome-BGCMuSo for modelling soil organic carbon under different land uses. *Land* 10 (9): 968. <https://doi.org/10.3390/land10090968>
- Pan, Y., R.A. Birdsey, J. Fang, R. Houghton, P.E. Kauppi, W.A. Kurz, O.L. Phillips, A. Shvidenko, S.L. Lewis, J.G. Canadell, P. Ciais, R.B. Jackson, S.W. Pacala, A.D. McGuire, S. Piao, A. Rautiainen, S. Sitch, S.D. Hayes, 2011: A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science* 333 (6045): 988–993. <https://doi.org/10.1126/science.1201609>
- Pang, X., W. Bao, B. Zhu, W. Cheng, 2013: Responses of soil respiration and its temperature sensitivity to thinning in a pine plantation. *Agricultural and Forest Meteorology* 171: 57–64. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.12.001>
- Peng, S., S. Piao, T. Wang, J. Sun, Z. Shen, 2009: Temperature sensitivity of soil respiration in different ecosystems in China. *Soil Biology and Biochemistry* 41 (5): 1008–1014. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.10.023>
- Peng, Y., S.C. Thomas, D. Tian, 2008: Forest management and soil respiration: Implications for carbon sequestration. *Environmental Reviews* 16 (NA): 93–111. <https://doi.org/10.1139/A08-003>
- Phillips, C.L., N. Nickerson, 2015: Soil Respiration. In (Elias, S. ed.): *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier, Amsterdam. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09442-2>
- Poeplau, C., A. Don, 2013: Sensitivity of soil organic carbon stocks and fractions to different land-use changes across Europe. *Geoderma* 192: 189–201. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.08.003>
- Poeplau, C., A. Don, L. Vesterdal, J. Leifeld, B.A.S. Van Wesemael, J. Schumacher, A. Gensior, 2011: Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone – carbon response functions as a model approach. *Global Change Biology* 17 (7): 2415–2427. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02408.x>
- Prasad, S., R. Baishya, 2019: Interactive effects of soil moisture and temperature on soil respiration under native and non-native tree species in semi-arid forest of Delhi, India. *Tropical Ecology* 60: 252–260. <https://doi.org/10.1007/s42965-019-00028-x>
- Pregitzer, K.S., E.S. Euskirchen, 2004: Carbon cycling and storage in world forests: biome patterns related to forest age. *Global Change Biology* 10 (12): 2052–2077. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00866.x>
- Raich, J.W., W.H. Schlesinger, 1992: The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus B* 44 (2): 81–99. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0889.1992.t01-1-00001.x>

- Rawat, M., K. Arunachalam, A. Arunachalam, 2021: Tree species influence soil respiration in a temperate forest of Uttarakhand Himalaya, India. *Journal of Sustainable Forestry* 40 (8): 820–830. <https://doi.org/10.1080/10549811.2020.1822873>
- Reich, P.B., D.P. Turner, P. Bolstad, 1999: An approach to spatially distributed modeling of net primary production (NPP) at the landscape scale and its application in validation of EOS NPP products. *Remote Sensing of Environment* 70 (1): 69–81. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(99\)00058-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(99)00058-9)
- Reichstein, M., A. Rey, A. Freibauer, J. Tenhunen, R. Valentini, J. Banza, P. Casals, Y. Cheng, J.M. Grünzweig, J. Irvine, R. Joffre, B.E. Law, D. Loustau, F. Miglietta, W. Oechel, J.-M. Ourcival, J.S. Pereira, A. Peressotti, F. Ponti, Y.Qi, S. Rambal, M. Rayment, J. Romanya, F. Rossi, V. Tedeschi, G. Tirone, D. Yakir, 2003: Modeling temporal and large-scale spatial variability of soil respiration from soil water availability, temperature and vegetation productivity indices. *Global Biogeochemical Cycles* 17 (4): 1–15. <https://doi.org/10.1029/2003GB002035>
- Ren, F., X. Yang, H. Zhou, W. Zhu, Z. Zhang, L. Chen, G. Cao, J.S. He, 2016: Contrasting effects of nitrogen and phosphorus addition on soil respiration in an alpine grassland on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Scientific Reports* 6 (1): 34786. <https://doi.org/10.1038/srep34786>
- Robert, M., 2001: Soil carbon sequestration for improved land management-World Soil Resources Reports. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Rustad, L.E., I.J. Fernandez, 1998: Experimental soil warming effects on CO₂ and CH₄ flux from a low elevation spruce–fir forest soil in Maine, USA. *Global Change Biology* 4 (6): 597–605. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.1998.00169.x>
- Saiz, G., K.A. Byrne, K. Butterbach-Bahl, R. Kiese, V. Blujdea, E.P. Farrell, 2006: Stand age-related effects on soil respiration in a first rotation Sitka spruce chronosequence in central Ireland. *Global Change Biology* 12 (6): 1007–1020. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01145.x>
- Sarzhanov, A.D., V.I. Vasenev, I.I. Vasenev, Y.L. Sotnikova, O.V. Ryzhkov, T. Morin, 2017: Carbon stocks and CO₂ emissions of urban and natural soils in Central Chernozem region of Russia. *Catena* 158: 131–140. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.06.021>
- Schaufler, G., B. Kitzler, A. Schindlbacher, U. Skiba, M.A. Sutton, S. Zechmeister-Boltenstern, 2010: Greenhouse gas emissions from European soils under different land use: effects of soil moisture and temperature. *European Journal of Soil Science* 61 (5): 683–696. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2010.01277.x>
- Schindlbacher, A., S. Zechmeister-Boltenstern, R. Jandl, 2009: Carbon losses due to soil warming: do autotrophic and heterotrophic soil respiration respond equally? *Global Change Biology* 15 (4): 901–913. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01757.x>
- Schulp, C.J., G.J. Nabuurs, P.H. Verburg, R.W. de Waal, 2008: Effect of tree species on carbon stocks in forest floor and mineral soil and implications for soil carbon inventories. *Forest Ecology and Management* 256 (3): 482–490. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.05.007>
- Shen, H., L. Zhang, H. Meng, Z. Zheng, Y. Zhao, T. Zhang, 2021: Response of soil respiration and its components to precipitation exclusion in *Vitex negundo* var. *heterophylla* shrubland of the middle Taihang Mountain in North China. *Frontiers in Environmental Science* 9: 712301. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.712301>
- Shi, W.Y., R. Tateno, J.G. Zhang, Y.L. Wang, N. Yamanaka, S. Du, 2011: Response of soil respiration to precipitation during the dry season in two typical forest stands in the forest–grassland transition zone of the Loess Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology* 151 (7): 854–863. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.02.003>
- Shi, Z., Y. Li, S. Wang, G. Wang, H. Ruan, R. He, Y. Tang, Z. Zhang, 2009: Accelerated soil CO₂ efflux after conversion from secondary oak forest to pine plantation in southeastern China. *Ecological Research* 24: 1257–1265. <https://doi.org/10.1007/s11284-009-0609-2>
- Striegl, R.G., K.P. Wickland, 1998: Effects of a clear-cut harvest on soil respiration in a jack pine-lichen woodland. *Canadian Journal of Forest Research* 28 (4): 534–539. <https://doi.org/10.1139/x98-023>
- Striegl, R.G., K.P. Wickland, 2001: Soil respiration and photosynthetic uptake of carbon dioxide by ground-cover plants in four ages of jack pine forest. *Canadian Journal of Forest Research* 31 (9): 1540–1550. <https://doi.org/10.1139/x01-092>
- Sun, Z., L. Liu, Y. Ma, G. Yin, C. Zhao, Y. Zhang, S. Piao, 2014: The effect of nitrogen addition on soil respiration from a nitrogen-limited forest soil. *Agricultural and Forest Meteorology* 197: 103–110. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.06.010>
- Tang, J., D.D. Baldocchi, 2005: Spatial-temporal variation in soil respiration in an oak–grass savanna ecosystem in California and its partitioning into autotrophic and heterotrophic components. *Biogeochemistry* 73: 183–207. <https://doi.org/10.1007/s10533-004-5889-6>
- Tang, J., D.D. Baldocchi, Y. Qi, L. Xu, 2003: Assessing soil CO₂ efflux using continuous measurements of CO₂ profiles in soils with small solid-state sensors. *Agricultural and Forest Meteorology* 118 (3–4): 207–220. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(03\)00112-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(03)00112-6)
- Tang, J., P.V. Bolstad, A.R. Desai, J.G. Martin, B.D. Cook, K.J. Davis, E.V. Carey, 2008: Ecosystem respiration and its components in an old-growth forest in the Great Lakes region of the United States. *Agricultural and Forest Meteorology* 148 (2): 171–185. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2007.08.008>
- Tang, J., Y. Qi, M. Xu, L. Misson, A.H. Goldstein, 2005: Forest thinning and soil respiration in a ponderosa pine plantation in the Sierra Nevada. *Tree Physiology* 25 (1): 57–66. <https://doi.org/10.1093/treephys/25.1.57>
- Tang, X.L., G.Y. Zhou, S.G. Liu, D.Q. Zhang, S.Z. Liu, J. Li, C.Y. Zhou, 2006: Dependence of soil respiration on soil temperature and soil moisture in successional forests in southern China. *Journal of Integrative Plant Biology* 48 (6): 654–663. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2006.00263.x>
- Tedeschi, V., A.N.A. Rey, G. Manca, R. Valentini, P.G. Jarvis, M. Borghetti, 2006: Soil respiration in a Mediterranean oak forest at different developmental stages after coppicing. *Global Change Biology* 12 (1): 110–121. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01081.x>
- Teramoto, M., N. Liang, J. Zeng, N. Saigusa, Y. Takahashi, 2017: Long-term chamber measurements reveal strong impacts of soil temperature on seasonal and inter-annual variation in understory CO₂ fluxes in a Japanese larch (*Larix kaempferi* Sarg.) forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 247: 194–206. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.07.024>
- Teramoto, M., N. Liang, Y. Takahashi, J. Zeng, N. Saigusa, R. Ide, X. Zhao, 2019: Enhanced understory carbon flux components and robustness of net CO₂ exchange after thinning in a larch forest in central Japan. *Agricultural and Forest Meteorology* 274: 106–117. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.04.008>
- Unger, S., C. Máguas, J.S. Pereira, L.M. Aires, T.S. David, C. Werner, 2010: Disentangling drought-induced variation in ecosystem and soil respiration using stable carbon isotopes. *Oecologia* 163: 1043–1057. <https://doi.org/10.1007/s00442-010-1576-6>
- Vesterdal, L., B. Elberling, J.R. Christiansen, I. Callesen, I.K. Schmidt, 2012: Soil respiration and rates of soil carbon turnover differ among six common European tree species. *Forest Ecology and Management* 264: 185–196. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.10.009>
- Walle, I.V., S. Mussche, R. Samson, N. Lust, R. Lemeur, 2001: The above- and belowground carbon pools of two mixed deciduous forest stands located in East-Flanders (Belgium). *Annals of Forest Science* 58 (5): 507–517. <https://doi.org/10.1051/forest:2001141>
- Wang, B., Y. Jiang, X. Wei, G. Zhao, H. Guo, X. Bai, 2011: Effects of forest type, stand age, and altitude on soil respiration in subtropical forests of China. *Scandinavian Journal of Forest Research* 26 (1): 40–47. <https://doi.org/10.1080/02827581.2010.538082>
- Wang, C., J. Yang, 2007: Rhizospheric and heterotrophic components of soil respiration in six Chinese temperate forests. *Global Change Biology* 13 (1): 123–131. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01291.x>
- Wang, C., J. Yang, Q. Zhang, 2006: Soil respiration in six temperate forests in China. *Global Change Biology* 12 (11): 2103–2114. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01234.x>
- Wang, J., B. Song, F. Ma, D. Tian, Y. Li, T. Yan, Q. Quan, F. Zhang, Z. Li, B. Wang, Q. Gao, W. Chen, S. Niu, 2019: Nitrogen addition reduces soil respiration but increases the relative contribution of heterotrophic component in an alpine meadow. *Functional Ecology* 33 (11): 2239–2253. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13433>
- Wang, J., H.E. Epstein, L. Wang, 2010: Soil CO₂ flux and its controls during secondary succession. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 115 (G2): 1–11. <https://doi.org/10.1029/2009JG001084>
- Wang, Y., Y. Hao, X.Y. Cui, H. Zhao, C. Xu, X. Zhou, Z. Xu, 2014: Responses of soil respiration and its components to drought stress. *Journal of Soils and Sediments* 14: 99–109. <https://doi.org/10.1007/s11368-013-0799-7>

- Wei, S., X. Zhang, N.B. McLaughlin, A. Liang, S. Jia, X. Chen, X. Chen, 2014a: Effect of soil temperature and soil moisture on CO₂ flux from eroded landscape positions on black soil in Northeast China. *Soil and Tillage Research* 144: 119–125. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.07.012>
- Wei, X., M. Shao, W. Gale, L. Li, 2014b: Global pattern of soil carbon losses due to the conversion of forests to agricultural land. *Scientific Reports* 4 (1): 4062. <https://doi.org/10.1038/srep04062>
- Wei, X., M. Shao, W.J. Gale, X. Zhang, L. Li, 2013: Dynamics of aggregate-associated organic carbon following conversion of forest to cropland. *Soil Biology and Biochemistry* 57: 876–883. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.10.020>
- Wiesmeier, M., P. Spörlein, U.W.E. Geuß, E. Hangen, S. Haug, A. Reischl, B. Schilling, M. von Lützow, I. Kögel-Knabner, 2012: Soil organic carbon stocks in southeast Germany (Bavaria) as affected by land use, soil type and sampling depth. *Global Change Biology* 18 (7): 2233–2245. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02699.x>
- Wiseman, P.E., J.R. Seiler, 2004: Soil CO₂ efflux across four age classes of plantation loblolly pine (*Pinus taeda* L.) on the Virginia Piedmont. *Forest Ecology and Management* 192 (2–3): 297–311. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.01.017>
- Wu, G., X.M. Chen, J. Ling, F. Li, F.Y. Li, L. Peixoto, Y. Wen, S.L. Zhou, 2020: Effects of soil warming and increased precipitation on greenhouse gas fluxes in spring maize seasons in the North China Plain. *Science of the Total Environment* 734: 139269. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139269>
- Yang, L., J. Qin, Y. Geng, C. Zhang, J. Pan, S. Niu, D. Tian, X. Zhao, J. Wang, 2022: Long-term effects of forest thinning on soil respiration and its components in a pine plantation. *Forest Ecology and Management* 513: 120189. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120189>
- Yu, J.C., P.N. Chiang, Y.J. Lai, M.J. Tsai, Y.N. Wang, 2021: High rainfall inhibited soil respiration in an Asian monsoon forest in Taiwan. *Forests* 12 (2): 239. <https://doi.org/10.3390/f12020239>
- Yu, K., X. Yao, Y. Deng, Z. Lai, L. Lin, J. Liu, 2019: Effects of stand age on soil respiration in *Pinus massoniana* plantations in the hilly red soil region of Southern China. *Catena* 178: 313–321. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.03.038>
- Yuste, J.C., M. Nagy, I.A. Janssens, A. Carrara, R. Ceulemans, 2005: Soil respiration in a mixed temperate forest and its contribution to total ecosystem respiration. *Tree Physiology* 25 (5): 609–619. <https://doi.org/10.1093/treephys/25.5.609>
- Zamanian, K., J. Zhou, Y. Kuzyakov, 2021: Soil carbonates: The unaccounted, irrecoverable carbon source. *Geoderma* 384: 114817. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114817>
- Zhang, J., Y. Li, J. Wang, W. Chen, D. Tian, S. Niu, 2021: Different responses of soil respiration and its components to nitrogen and phosphorus addition in a subtropical secondary forest. *Forest Ecosystems* 8 (1): 37. <https://doi.org/10.1186/s40663-021-00313-z>
- Zhao, X., F. Li, W. Zhang, Z. Ai, H. Shen, X. Liu, J. Cao, K. Manevski, 2016: Soil respiration at different stand ages (5, 10, and 20/30 years) in coniferous (*Pinus tabulaeformis* Carrière) and deciduous (*Populus davidiana* Dode) plantations in a sandstorm source area. *Forests* 7 (8): 153. <https://doi.org/10.3390/f7080153>
- Zhao, Z.M., C.Y. Zhao, Y.Y. Yan, J.L. Li, J. Li, F.Z. Shi, 2013: Interpreting the dependence of soil respiration on soil temperature and moisture in an oasis cotton field, central Asia. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 168: 46–52. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.01.013>
- Zhao, Z.M., F.X. Shi, 2017: Contribution of root respiration to spatial-temporal variation of soil respiration in a *Haloxylon ammodendrons* ecosystem in Gurbantunggut Basin. *Acta Ecologica Sinica* 37 (6): 392–398. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2017.02.006>
- Zheng, P., D. Wang, X. Yu, G. Jia, Z. Liu, Y. Wang, Y. Zhang, 2021: Effects of drought and rainfall events on soil autotrophic respiration and heterotrophic respiration. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 308: 107267. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107267>
- Zhou, J., X. Liu, J. Xie, M. Lyu, Y. Zheng, Z. You, Y. Fan, C. Lin, G. Chen, Y. Chen, Y. Yang, 2019: Nitrogen addition affects soil respiration primarily through changes in microbial community structure and biomass in a subtropical natural forest. *Forests* 10 (5): 435. <https://doi.org/10.3390/f10050435>
- Zhou, X., M. Talley, Y. Luo, 2009: Biomass, litter, and soil respiration along a precipitation gradient in southern Great Plains, USA. *Ecosystems* 12: 1369–1380. <https://doi.org/10.1007/s10021-009-9296-7>
- Zhu, C., Y. Ma, H. Wu, T. Sun, K.J. La Pierre, Z. Sun, Q. Yu, 2016: Divergent effects of nitrogen addition on soil respiration in a semiarid grassland. *Scientific Reports* 6 (1): 33541. <https://doi.org/10.1038/srep33541>
- Zhu, M., H.J. De Boeck, H. Xu, Z. Chen, J. Lv, Z. Zhang, 2020: Seasonal variations in the response of soil respiration to rainfall events in a riparian poplar plantation. *Science of the Total Environment* 747: 141222. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141222>



**HRVATSKA KOMORA
INŽENJERA ŠUMARSTVA
I DRVNE TEHNOLOGIJE**

Prilaz Gjüre Deželića 63, 10000 Zagreb
Telefon: +385(1)376-5501
Telefax: +385(1)376-5504
www.hkisdt.hr; info@hkisdt.hr

Hrvatska komora inženjera šumarstva i drvne tehnologije (*Croatian Chamber of Forestry and Wood Technology Engineers*) osnovana je na temelju Zakona o Hrvatskoj komori inženjera šumarstva i drvne tehnologije (NN 22/06).

Komora je samostalna i neovisna strukovna organizacija koja obavlja povjerene joj javne ovlasti, čuva ugled, čast i prava svojih članova, skrbi da ovlašteni inženjeri obavljaju svoje poslove savjesno i u skladu sa zakonom te promiče, zastupa i usklađuje njihove interese pred državnim i drugim tijelima u zemlji i inozemstvu.

Članovi Komore:

- inženjeri šumarstva i drvne tehnologije koji obavljaju stručne poslove iz područja šumarstva, lovstva i drvne tehnologije.

Stručni poslovi (Zakon o HKIŠDT, članak 1):

- projektiranje, izrada, procjena, izvođenje i nadzor radova iz područja uzgajanja, uređivanja, iskorištavanja i otvaranja šuma, lovstva, zaštite šuma, hortikulture, rasadničarske proizvodnje, savjetovanja, ispitivanja kvalitete proizvoda, sudskoga vještačenja, izrade i revizije stručnih studija i planova, kontrola projekata i stručne dokumentacije, izgradnja uređaja, izbor opreme, objekata, procesa i sustava, stručno osposobljavanje i licenciranje radova u šumarstvu, lovstvu i preradi drva.

Javne ovlasti Komore:

- vodi imenik ovlaštenih inženjera šumarstva i drvne tehnologije,
- daje, obnavlja i oduzima licencije (odobrenja) pravnim i fizičkim osobama za obavljanje radova iz područja šumarstva, lovstva i drvne tehnologije,
- utvrđuje profesionalne obveze članova i njihovo obavljanje u skladu s kodeksom strukovne etike,
- provodi stručne ispite za ovlaštene inženjere,
- drugi poslovi koji su utvrđeni kao javne ovlasti.

Akti koje Komora izdaje u obavljanju javnih ovlasti, javne su isprave.

Ostali poslovi koje obavlja Komora:

- promiče razvoj struke i skrbi o stručnom usavršavanju članova,
- potiče donošenje propisa kojima se utvrđuju javne ovlasti Komore u skladu s kriterijima europske i svjetske prakse,
- zastupa interese svojih članova,
- daje stručna mišljenja kod pripreme propisa iz područja šumarstva, lovstva i drvne tehnologije,
- organizira stručno usavršavanje svojih članova,
- izdaje glasilo Komore te druge stručne publikacije.

Članovima Komore izdaje se rješenje, pečat i iskaznica ovlaštenoga inženjera. Za uspješno obavljanje zadataka te postizanje ciljeva ravnopravnoga i jednakovrijednoga zastupanja struka udruženih u Komoru, članovi Komore organizirani su u strukovne razrede:

- Razred inženjera šumarstva,
- Razred inženjera drvne tehnologije.

Članovi Komore imaju odgovornosti u obavljanju stručnih poslova sukladno zakonskim i podzakonskim aktima te Kodeksu strukovne etike.

Kvaliteta šumskog sadnog materijala – važnost, opis i metodologija

Quality of Forest Planting Material – Importance, Description and Methodology

Martina Đodan*, Andrija Barišić

Hrvatski šumarski institut, Jastrebarsko

* Dopisna autorica: Martina Đodan, e-mail: martinat@sumins.hr

Sažetak

Šumski reprodukcijski materijal (ŠRM) ključan je u svim šumskouzgojnim aktivnostima. Međutim, klimatske promjene dovode do promjena u pogodnosti staništa za pojedine šumske vrste što otežava planiranje i provođenje šumskouzgojnih aktivnosti. Stoga, da bi uspješno planirali i provodili šumskouzgojne aktivnosti potreban je kvalitetan ŠRM, posebice visokokvalitetne šumske sadnice prilagođene uvjetima staništa. Kvaliteta šumskih sadnica može se utvrditi raznim morfološkim i fiziološkim svojstvima, međutim, najvažnija su ona koja omogućuju preživljenje i rast šumske sadnice u sadašnjim, ali i budućim uvjetima staništa. Cjelokupnim pregledom i analizom dostupnih publikacija uočava se nedostatak recentnih znanstvenih publikacija i aktivnije znanstveno-istraživačke djelatnosti na temu kvalitativnih svojstava šumskih sadnica. K tome, utvrđivanje kvalitete šumskih sadnica na temelju morfoloških i fizioloških svojstava prilikom stavljanja na tržište kod većine vrsta nije obuhvaćeno zakonskim okvirima, stoga je cilj ovog rad I.) utvrditi morfološka i fiziološka svojstva šumskih sadnica koja ukazuju na njihovu kvalitetu i II.) dati opće preporuke za rasadničku proizvodnju šumskih sadnica ususret klimatskim promjenama. Provedenim istraživanjem utvrđeno je da kvaliteta šumskih sadnica zahtjeva integraciju morfoloških i fizioloških svojstava, pri čemu su izdvojena ona najvažnija za preživljenje i rast sadnice na terenu. Od morfoloških svojstava izdvajaju se: visina, promjer stabljike, odnos visine i promjera stabljike, kvaliteta korijenskog sustava i odnos korijenskog sustava i izbojaka. Fiziološka svojstva su: otpornost na hladnoću, otpornost na sušu i stanje hranjiva u tkivu šumskih sadnica. Za svako svojstvo dan je opis njegove važnosti za preživljenje i rast sadnice na terenu te način njegova utvrđivanja. Ističe se važnost unaprijeđena proizvodnog programa rasadničke proizvodnje i potrebitost staništu prilagođenih šumskih sadnica ususret novim izazovima koji stoje pred šumarskim sektorom u Republici Hrvatskoj. Iako teško predvidive, klimatske promjene i ugroze su neizbježne, stoga je kvalitetan i raznolik proizvodni program rasadnika šumskih sadnica u Republici Hrvatskoj potrebniji nego ikad kako bi se povećala otpornost šumskih sastojina na trenutne i predstojeće ugroze. Proizvodni program treba prepoznati trenutne i predstojeće obaveze kao i međunarodna kretanja sadnog materijala, recentne znanstvene spoznaje, potrebe praktičnog šumarstva i ostalih grana privrede, predviđanje promjena u pogodnosti staništa za šumske vrste te pronalaženje suvremenih rješenja prilagodbe šuma na predstojeće ugroze i izazove.

Ključne riječi:

morfološka svojstva, fiziološka svojstva, rasadnička proizvodnja, kvaliteta šumskih sadnica, šumski reprodukcijski materijal

DOI:

<https://doi.org/10.31298/sl.150.1-2.5>

Kako citirati / How to Cite:

Đodan, M., A. Barišić, 2026: Kvaliteta šumskog sadnog materijala – važnost, opis i metodologija. Šumarski list 150 (1–2): 47–54. <https://doi.org/10.31298/sl.150.1-2.5>



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

UVOD

INTRODUCTION

Tek posađene šumske sadnice prolaze kroz niz razvojnih faza (Grossnickle 2000) te mogu biti izložene raznim okolišnim stresovima prije nego postanu dio šumskog ekosustava (Grossnickle 2016). Ako su okolišni stresovi preveliki ili su sadnice loše kvalitete može doći do odumiranja sadnica na terenu (Grossnickle 2012, Grossnickle i MacDonald 2018b). Utvrđivanje pojedinačnih morfoloških i fizioloških svojstava ne može predvidjeti mogućnost za preživljenje i rast sadnice na terenu (Lavender 1988, Puttonen 1997, Davis i Jacobs 2005), nego je potrebna integracija različitih funkcionalnih svojstava. Stoga, kvalitativna svojstva i prilagođenost uvjetima terena ključni su za preživljenje i rast sadnice (Grossnickle i MacDonald 2018b). Kvaliteta se utvrđuje različitim morfološkim i fiziološkim svojstvima, međutim, najpoželjnija svojstva su ona koja omogućuju najbolje šanse za preživljenje i rast sadnice u skladu s uvjetima na terenu (Ritchie i dr. 2010, Davis i Pinto 2021).

Istraživanja kvalitativnih svojstava u Republici Hrvatskoj (RH) posljednjih desetljeća odnose se na utvrđivanje pojedinih morfoloških ili fizioloških svojstava određenih vrsta u različitim uzgojnim uvjetima. Istraživani su: hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) (Roth 2002, Seletković i dr. 2011a, Drvodelić i dr. 2013, Crnković i dr. 2017, Hubak 2023), hrast kitnjak (*Q. petraea* (Matt.) Liebl.) (Drvodelić i dr. 2013), poljski jasen (*Fraxinus angustifolia* Vahl) (Drvodelić i dr. 2016, Drvodelić i Oršanić 2020), obična bukva (*Fagus sylvatica* L.) (Potočić i dr. 2009, Seletković i dr. 2009, 2011a), crni bor (*Pinus nigra* J.F. Arnold) (Seletković i dr. 2011b), primorski bor (*Pinus pinaster* Aiton) (Šolić 2017), divlja trešnja (*Prunus avium* L.) (Srša 2017), obični čempres (*Cupressus sempervirens* L.) (Topić i dr. 2009) i divlja kruška (*Pyrus pyraeaster* (L.) Burgsd.) (Drvodelić i dr. 2012).

U međunarodnoj znanstvenoj zajednici kvalitativna svojstva

i njihov utjecaj na preživljavanje i rast sadnica šumskih vrsta drveća na terenu dobro su istraživana i opisana (Haase 2008; Grossnickle 2000, 2012; Grossnickle i MacDonald 2018a, 2018b). Međutim, nedostatak dugotrajnijih znanstvenih istraživanja i praktičnog iskustva ograničavaju postavljanje kriterija evaluacije kvalitete sadnica, modernizaciju proizvodnje te edukaciju stručnog osoblja. Aktualna je i činjenica kako niti u RH niti u Europskoj Uniji (EU) ne postoji zakonski okvir kojim se utvrđuje kvaliteta sadnica na temelju morfoloških ili fizioloških svojstava prilikom stavljanja na tržište. Izuzetak čine dvije skupine: a) vrste iz roda *Populus* sp. (topole) razmnožene pomoću reznica te b) sadnice vrsta koje su namijenjene za prodaju na području mediteranske klime (Mataruga i dr. 2023).

U operativi je dostupno preko 30 metoda za utvrđivanje kvalitete sadnica (Mohammed 1997), međutim, danas se utvrđuje samo manji broj svojstava (Haase i Davis 2017, Grossnickle i MacDonald 2018b, Nyoka i dr. 2018). Stoga, otvara se potreba za definiranjem najvažnijih svojstava kvalitete na koja će biti usmjerena znanstvena istraživanja, ali i izdvajanja onih koja će biti lako primjenjiva u praksi. Ciljevi provedenog istraživanja su: I.) utvrditi morfološka i fiziološka svojstva šumskih sadnica koja ukazuju na njihovu kvalitetu; II.) dati opće preporuke za rasadničku proizvodnju šumskih sadnica ususret klimatskim promjenama.

SVOJSTVA KOJIMA SE DEFINIRA KVALITETA ŠUMSKIH SADNICA

ATTRIBUTES DEFINING THE QUALITY OF FOREST SEEDLINGS

Svojstva kojima definiramo kvalitetu sadnica mogu se podijeliti na morfološka i fiziološka (Grossnickle i MacDonald 2018b, Riikonen i Luoranen 2018). Neka od najčešće utvrđivanih svojstava u rasadnicima prikazana su u Tablici 1.

Tablica 1. Svojstva kojima se najčešće definira kvaliteta sadnica u rasadnicima (prilagođeno iz Grossnickle i MacDonald 2018b, Haase 2008).

Table 1 Attributes most commonly used to define the quality of seedlings (adapted from Grossnickle and MacDonald 2018b, Haase 2008).

Morfološka svojstva <i>Morphological Attributes</i>	Fiziološka svojstva <i>Physiological Attributes</i>
Razvoj i dužina pupova <i>Development and length of buds</i>	Fluorescencija klorofila <i>Chlorophyll fluorescence</i>
Masa suhih dijelova sadnice <i>Mass of dry parts of the seedling</i>	Otpornost na smrzavanje <i>Freezing tolerance</i>
Visina sadnice <i>Seedling height</i>	Stanje hranjiva <i>Nutrient status</i>
Promjer vrata korijena/promjer stabljike sadnice <i>Root collar diameter/seedlings stem diameter</i>	Stanje biljnih bolesti i štetnika <i>Plant diseases and pest status</i>
Omjeri (visina : promjer, krošnja : korijen) <i>Ratios (height : diameter, shoot : root)</i>	Vodni potencijal sadnice <i>Seedling water potential</i>
Kvaliteta korijenskog sustava (razgranatost, vlaknatost, dužina, itd.) <i>Root quality (branching, fibrosity, length, etc.)</i>	Kapacitet rasta korijena <i>Root growth capacity</i>
Masa korijena i izbojaka u svježem stanju <i>Fresh root and shoot mass</i>	Količina elektrolita u korijenu <i>Root electrolyte status</i>
Prirast izbojaka <i>Shoot growth</i>	Dormantnost pupova <i>Bud dormancy</i>
Kvaliteta izbojaka (broj pupova, broj grananja, nepravilnost grana, itd.) <i>Shoot quality (buds number, branching number, branch irregularities, etc.)</i>	
Boja, oblik i oštećenja sadnice <i>Color, form, and damage of seedlings</i>	

Morfološka se svojstva radi jednostavnosti i jeftinije cijene češće koriste od fizioloških prilikom utvrđivanja kvalitete sadnice (Haase 2008, Grossnickle i MacDonald 2018b). Utvrđivanje morfoloških svojstava ne zahtjeva sofisticiranu opremu i prethodnu edukaciju o rukovanju opremom (Nyoka i dr. 2018) te se svojstva značajno ne mijenjaju od trenutka izlaska sadnice iz rasadnika do mjesta sadnje. S druge strane, fiziološka svojstva se, ponekad i drastično, promijene. Tako prilikom utvrđivanja fizioloških svojstava prikazujemo samo trenutno stanje sadnice u trenutku testiranja (Ritchie i dr. 2010). Morfološka svojstva sadnica ne mogu se koristiti pojedinačno za procjenu kvalitete sadnice jer morfologija ne opisuje fiziološku snagu sadnice (Mexal i Landis 1990; Grossnickle 2000, 2012). Također, kvaliteta sadnice se ne može odrediti pojedinačnim fiziološkim svojstvima odvojeno od drugih fizioloških i morfoloških svojstava (Lavender 1988). Stoga, potrebna je njihova kombinacija za utvrđivanje kvalitete sadnice (Folk i Grossnickle 1997; Seleković i dr. 2009, 2011a). U nastavku su, pregledom dostupnih znanstvenih i stručnih publikacija, prepoznata i opisana morfološka i fiziološka svojstva koja se najčešće koriste za određivanje kvalitete sadnice.

Morfološka svojstva šumskih sadnica – Morphological Attributes of Forest Seedlings

Morfologija se definira kao forma ili struktura nekog organizma (Drvodelić i Oršanić 2019). Morfologija sadnica predstavlja kombinacija triju čimbenika: porijekla sjemena, lokacije rasadnika i uzgojnih mjera (Drvodelić i Oršanić 2019). Morfološka svojstva smatramo pouzdanim pokazateljima kvalitete sadnica jer zadržavaju svoja obilježja dugo nakon što je sadnica posađena i započela s rastom (Puttonen 1997, Grossnickle 2012). Takva obilježja imaju ključnu ulogu, primjerice, u definiranju struktura za vodni potencijal sadnica pomoću kojih određujemo tolerantnost sadnice prema suši (McDowell i dr. 2008). Morfološku kvalitetu sadnice možemo utvrditi pomoću Dicksonova indeksa kvalitete (DQI), a računa se pomoću formule (Drvodelić i Oršanić 2019):

$$DQI = \frac{UB(g)}{\frac{H(cm)}{PVK(mm)} + \frac{MS(g)}{MK(g)}}$$

gdje je:

UB = ukupna biomasa sadnice u suhom stanju

H = visina nadzemnog dijela sadnice

PVK = promjer vrata korijena sadnice

MS = masa stabljike u suhom stanju

MK = masa korijena u suhom stanju

DQI se smatra dobrim pokazateljem kvalitete sadnica jer izračunava masivnost i distribuciju biomase uzimajući u obzir nekoliko važnih svojstava (Fonseca i dr. 2002). Što je DQI veći, sadnice su bolje morfološke kvalitete (Drvodelić i Oršanić 2019).

Visina sadnice – Seedling Height

Definira se kao udaljenost od ožiljka kotiledona (supki) do baze vršnog pupa kod dormantnih sadnica ili vrha izbojka na sadnicama u vegetaciji (Drvodelić i Oršanić 2019). Više sadnice imaju određene prednosti kao što su bolji rast u odnosu na konkurenciju (Morrissey i dr. 2010, Thiffault i dr.

2014), veći dio krošnje izložen sunčevoj svjetlosti (Haase 2008), a posljedično i veću dostupnost lisne površine za proces fotosinteze (Grossnickle 2000). S druge strane, u lošijim stanišnim uvjetima, korijen ne može opskrbiti nadzemni dio sadnice s dovoljnom količinom vode uslijed transpiracije, što dovodi do vodnog stresa (Grossnickle i El-Kassaby 2015). Smatra se da sadnice s nižim rastom imaju prednost u lošijim stanišnim uvjetima (Grossnickle 2012), no Villar-Salvador i dr. (2015) tvrde da visoke sadnice s dovoljnom količinom pohranjenog hranjiva u tkivima uspijevaju i na takvim staništima. Vrlo visoke sadnice mogu biti teške za sadnju, lako ih je izbaciti iz ravnoteže i podložna su oštećenjima od vjetra (Haase 2008).

Promjer stabljike ili promjer vrata korijena – Stem Diameter or Root Collar Diameter

Definira se kao promjer glavne stabljike na ožiljku ili blizu ožiljka kotiledona (Drvodelić i Oršanić 2019). Brojni autori navode (prikazano u Grossnickle i MacDonald 2018a) da sadnice s većim promjerom imaju veći postotak preživljenja i rasta na terenu u odnosu na one s manjim promjerom. Stoga, utvrđivanje promjera stabljike se smatra pouzdanim morfološkim svojstvom prilikom predviđanja preživljenja i budućeg rasta sadnice na trenu. Veći promjer stabljike ukazuje i na veći volumen korijenskog sustava (Haase 2008, Grossnickle 2012) što omogućuje bolje podnošenje suše (Thompson 1985). K tome, veći promjer stabljike doprinosi čvrstoći sadnice čime smanjuje štetu od suša i vrućina (Grossnickle 2012) te od konkurentne vegetacije (Mason 2001). Blake i dr. (1989) navode da su tanje sadnice (< 3 mm) zelene duglazije (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) imale visoko preživljenje (> 70 %) ukoliko su imale dobru masu korijena. Deblje sadnice (> 5 mm) su imale dobro preživljenje i s malom masom korijena.

Odnos visine i promjera – Height : Diameter Ratio

Odnos između ukupne visine [cm] i promjera vrata korijena [mm] je koeficijent vitkosti ili vitkost (čvrstoća) sadnica (Drvodelić i Oršanić 2019). Vitke sadnice su pod većim utjecajem fizičkog opterećenja od vremenskih uvjeta (vjetar, snijeg, led) (Roller 1977), ali i težine svoje krošnje (Zhang i dr. 2020). Odnos se računa dijeljenjem visine s promjerom, a sadnice s iznosom odnosa od 7 ili manje označavaju se kao poželjne (Shin i dr. 2014). Zhang i dr. (2020) navode kako se odnos između visine i promjera može izraziti pomoću formule: $\log(\text{visine}) = \alpha + \beta \log(\text{promjera})$; gdje je: α = presjek, a β = alometrijski eksponent. Smatra se da je za sadnice i manja stabilca potreban iznos $\beta \geq 1$ da bi se spriječilo puknuće stabljike.

Korijenski sustav – Root System

Kvalitetan korijenski sustav sadnice odavno je povezivan s uspješnim osnivanjem šumskih sastojina (Toumey 1916). Definiran je svojstvima kao što su masa, vlaknastost (raspored bočnih grana i vrhova) i potencijal rasta korijena (PRK) (Davis i Jacobs 2005). Kvalitetan korijenski sustav spreman je odmah uzimati vodu i hranjive tvari te pružati strukturnu potporu sadnici (Grossnickle i Ivetić 2022). U pravilu, što je korijen više vlaknast, to je apsorpcija veća (Carlson i Miller 1990). Na vlaknastost korijena može se utjecati s raznim uzgojnim postupcima u rasadniku, a još uvijek se istražuju nove metode poboljšanja vlaknastosti korijena (Grossnickle

i dr. 2020). Masa korijenskog sustava utvrđuje se volumenom (potapanjem korijena u vodu) ili kao suha masa korijena nakon 48 h sušenja u sušioniku na 68 °C (Haase 2008). PRK predstavlja sposobnost sadnice za stvaranjem novog korijena u idealnim uvjetima (Ritchie 1985). Obično se mjeri u kasnu zimu ili početkom proljeća sadnjom sadnica u posude ili hidroponske spremnike (Drvodelić i Oršanić 2019), a utvrđuje se nakon tri tjedna (Haase 2008).

Odnos korijenskog sustava i izbojka – Root : Shoot Ratio

Ovaj je odnos pokazatelj ravnoteže između transpiracijske površine (izbojci) i apsorpcijske površine (korijenski sustav) sadnica. Općenito, kvalitetne sadnice golog korijena imaju odnos izbojka i korijena 3:1 ili manje, a kvalitetne kontejnerske sadnice 2:1 ili manje (Haase 2008, Drvodelić i Oršanić 2019). Računa se tako da se u odnos stavi volumen izbojaka s volumenom korijena, koji moraju biti u istoj mjernoj jedinici (Haase 2008). Povećanjem vlaknastosti korijena sadnice smanjuje se odnos korijenskog sustava i izbojaka sadnica (Grossnickle i Ivetić 2022) što povećava šanse za preživljenje sadnice na terenu (Thompson 1985).

Fiziološka svojstva šumskih sadnica – Physiological Attributes of Forest Seedlings

Preživljenje sadnica na terenu velikim dijelom ovisi o sposobnosti sadnice na prilagodbu uvjetima tog staništa, kao i o njihovim fiziološkim svojstvima (Grossnickle 2012). Među glavnim čimbenicima staništa koji utječu na preživljenje sadnica izdvajaju se vodni kapacitet, nagle promjene temperature i stanje hranjiva u tlu (Grossnickle i MacDonald 2018b). Faulconer i Thompson (1984) ukazuju na to da je fiziologija sadnice glavni nositelj kvalitete sadnice, zbog čega se fiziološka svojstva smatraju pouzdanijim pokazateljima kvalitete od morfoloških (Selektović i dr. 2011a). Primarna svrha poboljšanja fizioloških svojstava je savladavanje stresa ili manjka hranjivih tvari u tkivima sadnice kako bi potpomogli rast korijena i izbojaka te na taj način osigurali preživljenje i primitak sadnice na terenu (Grossnickle i MacDonald 2018a). Kako bi se sadnice što bolje fiziološki prilagodile novim stanišnim uvjetima na terenu, u rasadnicima se često koristi koncept aklimatizacije sadnica na stresove karakteristične za stanište na koje dolaze (Kozłowski i Pallardy 2002).

Otpornost na hladnoću – Cold Hardiness

Otpornost na hladnoću se mijenja pod utjecajem godišnjih doba (Burr 1990), a povezana je s prestankom rasta izbojaka i stvaranjem pupova, sazrijevanjem listova i sezonskim promjenama temperature (Grossnickle 2000). U zoni umjerene klime smanjenje dužine dana potiče stvaranje pupova (Williams i dr. 1972), što povećava otpornosti sadnica na hladnoću (Colombo i dr. 2001). Za definiranje stupnja otpornosti na hladnoću obično se koristi LT_{50} (letalna temperatura za 50 % populacije) (Drvodelić i Oršanić 2019). Definira se kao temperaturni minimum prilikom kojeg će određeni postotak slučajno odabranih sadnica iz populacije preživjeti ili uzrokovati određene razine oštećenja (Ritchie 1984). Iznos LT_{50} povezan je s ciklusom dormantnosti i otpornosti sadnica na stres, a na njega utječu porijeklo sjemena, uzgojni postupci i klima (Burr 1990). Jesenska aklimatizacija i skladištenje sadnica ključni su uzgojni postupci s kojima povećavamo otpornost na hladnoću i šanse za kasnije preživljenje na terenu (Grossnickle i South 2014). To se postiže čuvanjem u suvremenim hlad-

njačama na niskim pozitivnim temperaturama zraka i visokoj relativnoj zračnoj vlazi (Drvodelić i Oršanić 2019). Skladištenjem sadnica u pravo vrijeme izbjegava se oštećenje korijenskog sustava od smrzavanja, koje je manje otporno na hladnoću od izbojaka, te minimalizira utjecaj na smanjenje PRK-a (Malmqvist i dr. 2016, Drvodelić i Oršanić 2019).

Otpornost na sušu – Drought Resistance

Otpornost na sušu zasluga je više svojstava kvalitete kao, primjerice, prilagodbe osmoze i elastičnosti stanične stijenke, otpornosti kloroplasta na sušu, sposobnosti stvaranja kutikule, osjetljivosti puči, morfološke ravnoteže sadnice i sposobnosti korijena za upijanje vode iz tla (Grossnickle 2012). Izlaganje sušnom stresu još je 80-ih godina 20. stoljeća prepoznato u razvoju kvalitetnih sadnica (Ritchie 1984). Izlaganjem sadnice suši krajem vegetacijskog razdoblja potiče se razvoj drva, što povećava preživljenje sadnica (Grossnickle 2012) i rast na terenu (Kozłowski i dr. 1991). Odrvnavanjem sadnice potiče se oporavak fotosintetskog aparata nakon presađnje (Kaushal i Aussenec 1989), bolja je kontrola gubitka vode (Villar-Salvador 2004) te je bolji rast korijena sadnica posađenih na tla teških edafskih uvjeta (Grossnickle 2012). Navodnjavanjem reguliramo vodni stres u sadnici, dok je mjerenje vodnog stresa brza, mobilna, relativno jeftina i nedestruktivna metoda (Drvodelić i Oršanić 2019). Vodni stres u sadnici prikazuje se pomoću vodnog potencijala (Ψ_w) koji odražava interakciju između dostupnosti vode, potražnje sadnice za vodom te regulacije vode u sadnici. Za mjerenje vodnog stresa najčešće se koristi prijenosna tlačna komora (Cleary i Zaerr 1980). Za vodni potencijal, koji se iskazuje u paskalima [Pa], važni su osmotski tlak (Ψ_π) i turgor (Ψ_p), a izračunava se prema formuli (Ritchie i dr. 1984): $\Psi_w = \Psi_p + \Psi_\pi$

Pri 100 % zasićenosti vodom Ψ_w iznosi 0, odnosno vrijednosti tlakova su jednake. Kod gubitka sadržaja vode od 10 %, Ψ_w iznosi -0,5 MPa, jer Ψ_p iznosi 1,2 MPa, a Ψ_π -1,7 MPa. Kod gubitka sadržaja vode od 30 % Ψ_p iznosi 0, a Ψ_π iznosi -2,5 MPa. Iznos Ψ_p od 0 predstavlja kritičnu točku jer ta razina vodnog stresa uzrokuje sušenje sadnice (Ritchie i dr. 1984). Teški vodni stres može trajno oštetiti fotosintetski aparat i značajno smanjiti šanse za preživljenje i rast (Haase 2008).

Stanje hranjiva – Nutrient Status

Nakupljanje rezervi hranjivih tvari u tkivima sadnice ključno je za preživljenje i rast na terenu (Selektović i dr. 2011a, 2011b; Grossnickle i MacDonald 2018a). Apliciranje gnojiva smatra se korisnim (Potočić i dr. 2009; Selektović i dr. 2011a, 2011b) jer tako osiguravamo sadnicama rezerve hranjivih tvari koje mogu aktivirati prilikom rasta (Ingestad i Lund 1986). Poznato je da se sadnice tretirane gnojivima odlikuju većom visinom i promjerom stabljike te bolje podnose sušu i presađnju u prirodna šumska staništa (Marušić i dr. 2021). Treba napomenuti kako je u prilikom sadnje sadnice na teren bitno trenutno stanje hranjiva, a ne načini i metode gnojidbe tijekom uzgoja u rasadniku (Everett i dr. 2007). Sadnice s optimalnim rezervama hranjivih tvari u svojim tkivima brzo se prilagođavaju okolišnim uvjetima čak i na lošijim stanišnim uvjetima (Luoranen i Rikala 2011). Za ispitivanje stanja hranjiva koristi se folijarno biljno tkivo iz kojeg se uklanja ugljična komponenta te se koristi emisijska spek-

trometrija s induktivno povezanom plazmom za određivanje koncentracija pojedinačnih hranjivih tvari (Haase 2007).

POGLED U BUDUĆNOST

A LOOK INTO THE FUTURE

Porast ugroza kojima su izložene sadnice nakon presađnje na teren iziskuje kvalitetnije i staništu prilagođenije sadnice. Osobito kada je riječ o zakorovljenim i degradiranim površinama i zahtjevnim zahvatima obnove, treba imati na umu da se radi o najosjetljivijem razdoblju novoosnovane šumske sastojine. Suvremeno gospodarenje šumama sve više poprima oblik „adaptiranog gospodarenja“ čija je sve važnija komponenta obnova šuma i šumskog krajolika nakon šteta (Jacobs i dr. 2015). Sve češće se govori o adaptiranom ŠRM koji obuhvaća sjeme, sadnice, reznice te biljke nastale prirodnom obnovom u šumskoj sastojini koje su bolje prilagođene na predstojeće klimatske te abiotske i biotske ugroze. Adaptirani ŠRM svojom kvalitetom, načinom uzgoja, ali i vrstom te genetskom konstitucijom osim trenutnim uvjetima mora odgovarati i uvjetima koji će tek nastupiti i u kojima mora postići vrhunac rasta i razvoja (Đodan i Perić 2022).

Dvije se kontradiktorne adaptacijske strategije gospodarenja šumama izdvajaju kao prilagodba na klimatske promjene (Yousefpour i Hanewinkel 2015, Sousa-Silva i dr. 2018). Prva strategija predstavlja adaptaciju vrstama (autohtonim ili alohtonim) koje su prilagođene i produktivne u sušnijim i toplijim uvjetima. Druga strategija je uspostavljanje sastojina od razolikih šumskih vrsta koje pružaju veći broj općekorisnih funkcija i otpornije su na biotske i abiotske utjecaje. Usto, proizvode veću nedrvnu biomasu i imaju veću sekvencijaciju ugljika (Guignabert i dr. 2024). Iako su teško predvidive, ugroze su neminovne, a nužnost rasadničke proizvodnje te proizvodnog plana i programa ususret novim ugrozama sve je očitija (Đodan i dr. 2023).

Kako pristupiti rasadničkoj proizvodnji kvalitetnih šumskih sadnica - *How to Approach the Nursery Production of Quality Forest Seedlings*

Provedene analize rasadničke proizvodnje u RH ukazuju na visok udio sadnog materijala bjelogorice u ukupnoj proizvodnji, posebice klimatogenih vrsta (hrast kitnjak, hrast lužnjak, obična bukva), što ukazuje na sve veće oslanjanje prirodne obnove šuma na rasadničku proizvodnju (Đodan i dr. 2023). Primitak sadnica na terenu ovisi o funkcionalnom potencijalu rasta (koji je povezan s njihovim morfološkim i fiziološkim svojstvima), zajedno s reakcijom sadnice na okolišne uvjete koji mogu ograničavati ili stimulirati taj potencijal (Grossnickle 2000). Stoga, prilagođenost sadnica uvjetima staništa ima najveći utjecaj na njihov primitak (Rose i dr. 1990, Ivetić i dr. 2016). Iz toga proizlazi ideja da se kvaliteta sadnice definira prema mjestu sadnje, a ne prema protokoli rasadnika (Landis 2011). Budući da je postupak obnove šuma skup i dugotrajan proces (Đodan i Perić 2022), sadnice uzgojene u rasadniku moraju biti morfološki i fiziološki uravnotežene i spremne za rast i razvoj nakon sadnje (Dumroese i dr. 2016, Mataruga i dr. 2023) da bi se izbjegli nepotrebni troškovi.

Koncept „adaptiranih sadnica“ pokazao se kao dobra alternativna jer svojim morfološkim, a ponekad i fiziološkim

svojstvima, odgovaraju staništu za koje su namijenjene. Takav sadni materijal povećava postotak preživljenja i rasta sadnice na terenu (Đodan i Perić 2022). Iako ovaj koncept u prošlosti nije doživio puni potencijal zbog visoke cijene i teže proizvodnje, smatra se kako će se u skorijoj budućnosti radi promjena u globalnoj klimi koristiti isključivo ove sadnice u obnovi šuma ili pošumljavanju (Drvodelić i Oršanić 2019). Za proizvodnju takvih sadnica u rasadniku potrebno je izraditi operativne planove u kojima bi stručno osoblje vodilo bilješke o procesima i programu na dnevnoj bazi. Na taj način bi ustanovili koja su područja rasadničke proizvodnje usklađena s ciljem proizvodnje te područja koja treba dodatno uskladiti. Tako bi se osigurala pravovremena isporuka sadnica sa svojstvima karakterističnim za predviđeno stanište (Đodan i dr. 2023, Hassan i dr. 2024).

ZAKLJUČCI

CONCLUSIONS

Utvrđivanjem kvalitete smanjujemo šanse za odumiranjem sadnica na terenu te tako osiguravamo kvalitetnije provođenje šumskouzgojnih aktivnosti. Osim toga, nakon presađnje, možemo utvrditi jesu li odumiranje odnosno preživljenje i rast sadnica rezultati kvalitativnih svojstava ili drugih čimbenika. Ova saznanja mogu biti korisna za daljnja istraživanja na tu temu.

Utvrđivanje kvalitete sadnica treba kombinirati morfološka i fiziološka svojstva sadnica, što je i propisano zakonom o šumskom reprodukcijskom materijalu (NN 75/2009, 61/11, 56/13, 14/14, 32/19, 98/19) za pružanje informacija potrebnih za donošenje odluka u rasadniku i šumskoj operativi. Tako će se postići jedno od osnovnih načela koncepta adaptiranih sadnica, čime će rasadnici isporučivati sadnice s optimalnim morfološkim i fiziološkim svojstvima koje ispunjavaju ciljeve postavljene u operativi. S obzirom na velik utjecaj kvalitete sadnice na preživljenje, rast i produktivnost, neophodno je utvrditi kvalitetu sadnice prije presađnje na teren. Iako sadnja sadnica željenih morfoloških i fizioloških svojstava ne jamči ostvarenje ciljeva operative, svakako povećava šanse za uspjeh. Ipak, treba s osobitom pažnjom pristupiti svim fazama vađenja, isporuke, transporta te sadnje na terenu u rasadniku proizvedenih šumskih sadnica jer njihova stečena morfološka i fiziološka svojstva mogu lako biti izgubljena nestručnim postupanjem. Jednako je važno da stručnjaci u šumskim rasadnicima i oni koji planiraju uzgojne zahvate na terenu kontinuirano surađuju kako bi planirani šumskouzgojni zahvati bili uspješni. Proizvodnja šumskih sadnica složen je i financijski zahtjevan proces koji zahtjeva višegodišnje planiranje te interdisciplinarni pristup. U tom planiranju neophodno je uzeti u obzir i potrebu za povećanjem bioraznolikosti šumskih vrsta drveća, ali i jačanje otpornosti šuma na sve aktualne i predstojeće ugroze.

ZAHVALE

ACKNOWLEDGMENTS

Financira Europska unija – NextGenerationEU. Izneseni stavovi i mišljenja samo su autorova i ne odražavaju nužno službena stajališta Europske unije ili Europske komisije. Ni Europska unija ni Europska komisija ne mogu se smatrati odgovornima za njih.

LITERATURA

REFERENCES

- Blake, J.I., L.D. Teeter, D.B. South, 1989: Analysis of the economic benefits from increasing uniformity in Douglas-fir nursery stock. *Forestry Supplement* 62: 251–261.
- Burr, K.E., 1990: The target seedling concepts: bud dormancy and cold hardiness. U: (Rose, R., S.J. Campbell, T.D. Landis, ur.): Target seedling symposium: combined proceedings of the Western Forest Nursery Associations. USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Roseburg, August 13–17, 1990, pp. 79–90.
- Carlson, W.C., D.E. Miller, 1990: Target seedling root system size, hydraulic conductivity, and water use during seedling establishment. U: (Rose, R., S.J. Campbell, T.D. Landis, ur.): Target seedling symposium: proceedings of the combined meeting of Western Forest Nursery Association. USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Roseburg, August 13–17, 1990, pp. 53–66.
- Cleary, B.D., J.B. Zaerr, 1980: Pressure chamber techniques for monitoring and evaluating seedling water status. *New Zealand Journal of Forest Science* 10: 133–141.
- Colombo, S.J., M.I. Menzies, C. O'Reilly, 2001: Influence of nursery cultural practices on cold hardiness of coniferous forest tree seedlings. U: (Bigas F.J., S.J., Colombo, ur.): *Conifer cold hardiness*. Springer, Dordrecht, pp. 223–252. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9650-3_9
- Crnković, S., D. Drvodelić, S. Perić, 2017: Morfološke značajke kontejnerskih sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) iz sjemenske regije Gornja Posavina i Pokuplje (1.2.3.). *Šumarski list* 141 (9–10): 451–458. <https://doi.org/10.31298/sl.141.9-10.1>
- Davis, A., D. Jacobs, 2005: Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. *New Forest* 30: 295–311.
- Davis, A.S., J.R. Pinto, 2021: The scientific basis of the target plant concept: An overview. *Forests* 12: 1293. <https://doi.org/10.3390/f12091293>
- Drvodelić, D., M. Oršanić, 2019: Izbor kvalitetne šumske sadnice poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl) za umjetnu obnovu i pošumljavanje. *Šumarski list* 143 (11–12): 577–585. <https://doi.org/10.31298/sl.143.11-12.8>
- Drvodelić, D., M. Oršanić, 2020: Sadnja sadnica poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl) u uvjetima sanacije šumskih sastojina uslijed sušenja. *Šumarski list* 144 (5–6): 289–301. <https://doi.org/10.31298/sl.144.5-6.6>
- Drvodelić, D., M. Oršanić, Z. Zeman, 2012: Uspjeh pošumljavanja jednogodišnjim (1+0) i školovanim (1+1) sadnicama divlje kruške (*Pyrus pyraeaster* Burgsd.). *Šumarski list* 136 (7–8): 355–366.
- Drvodelić, D., M. Oršanić, S. Perić, M. Tijardović, 2013: Utjecaj navodnjavanja i mikroklijeta u rasadniku na morfološka svojstva šumskih sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) i kitnjaka (*Quercus petraea* L.). *Šumarski list* 137 (9–10): 447–459.
- Drvodelić, D., D. Ugarković, M. Oršanić, V. Paulić, 2016: The impact of drought, normal watering and substrate saturation on the morphological and physiological condition of container seedlings of narrow-leaved ash (*Fraxinus angustifolia* Vahl). *SEEFOR* 7 (2): 135–142. <https://doi.org/10.15177/seefor.16-11>
- Dumroese, R.K., T.D. Landis, J.R. Pinto, D.L. Haase, K.W. Wilkinson, A.S. Davis, 2016: Meeting forest restoration challenges: using the target plant concept. *Reforesta* 1: 37–52. <https://doi.org/10.21750/REFOR.1.03.3>
- Đodan, M., S. Perić, 2022: Stručni nadzor i pregled rasadničke proizvodnje šumskog sadnog materijala u Republici Hrvatskoj tijekom 2021. godine. *Radovi (Hrvatski šumarski institut)* 48 (1): 48–56.
- Đodan, M., R. Bogdanić, M. Gradečki-Poštenjak, S. Perić, 2023: Proizvodnja šumskog sadnog materijala bjelogorice u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 2017. do 2021. godine. *Šumarski list* 147 (11–12): 555–564. <https://doi.org/10.31298/sl.147.11-12.6>
- Everett, K.T., B.J. Hawkins, S. Kiiskila, 2007: Growth and nutrient dynamics of Douglas-fir seedlings raised with exponential or conventional fertilization and planted with or without fertilizer. *Canadian Journal of Forest Research* 37: 2552–2562.
- Faulconer, J.R., B.E. Thompson, 1984: Benefits of knowing seedlings quality. *Western Forest Nursery Council-Intermountain Nurseryman's Association*, pp. 84–87.
- Folk, R.S., S.C. Grossnickle, 1997: Determining field performance potential with the use of limiting environmental conditions. *New Forests* 13: 121–138. <https://doi.org/10.1023/A:1006514805052>
- Fonseca E.P., S.V. Valéri, E. Miglioranza, N.A.N Fonseca, L. Couto, 2002: Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. *Revista Árvore* 26 (4): 515–523.
- Grossnickle, S.C., 2000. *Ecophysiology of northern spruce species: the performance of planted seedlings*. NRC Research Press: 407, Ottawa. <https://doi.org/10.1093/TREEPHYS/21.7.415>
- Grossnickle, S.C., 2005: Importance of root growth in overcoming planting stress. *New Forest* 30: 273–294. <https://doi.org/10.1007/s11056-004-8303-2>
- Grossnickle, S.C., 2012: Why seedlings survive: importance of plant attributes. *New Forest* 43: 711–738. <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9336-6>
- Grossnickle, S.C., 2016: Restoration silviculture: An ecophysiological perspective - Lessons learned across 40 years. *Reforesta* 1: 1–36. <https://doi.org/10.21750/REFOR.1.02.2>
- Grossnickle, S.C., D.B., South, 2014: Fall acclimation and the lift/store pathway: effect on reforestation. *The Open Forest Science Journal* 714 (1): 1–20. <https://doi.org/10.2174/1874398601407010001>
- Grossnickle, S.C., J.E. MacDonald, 2018a: Why seedlings grow: influence of plant attributes. *New Forest* 49: 1–34. <https://doi.org/10.1007/s11056-017-9606-4>
- Grossnickle, S.C., J.E. MacDonald, 2018b: Seedling quality: History, application, and plant attributes. *Forests* 9 (5): 283. <https://doi.org/10.3390/f9050283>
- Grossnickle, S.C., V. Ivetić, 2022: Root system development and field establishment: effect of seedling quality. *New Forests* 53: 1021–1067. <https://doi.org/10.1007/s11056-022-09916-y>
- Grossnickle, S.C., Y. El-Kassaby, 2015: Bareroot versus container stock-types: a performance comparison. *New Forests* 47: 1–51. <https://doi.org/10.1007/s11056-015-9476-6>
- Grossnickle, S.C., S.B. Kiiskila, D.L. Haase, 2020: Five questions to explore in the nursery for optimizing subsequent field success. *Tree Planters' Note* 63 (2): 112–127.
- Guignabert, A., M. Jonard, C. Messier, F. André, F. de Coligny, F. Doyon, Q. Ponette, 2024: Adaptive forest management improves stand-level resilience of temperate forests under multiple stressors. *Science of The Total Environment* 948: 174168. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174168>
- Haase, D.L., 2007: Morphological and physiological evaluations of seedling quality. U: (Riley, L.E., R.K. Dumroese, T.D. Landis, ur.): *National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations-2006*. Proceedings RMRS-P-50, pp. 3–8.
- Haase, D.L., 2008: Understanding forest seedling quality: measurements and interpretation, *Tree Planters' Note* 52: 24–30. <http://www.rngr.net/publications/tpn/52-2>
- Haase, D.L., C. Pike, S. Enebak, L. Mackey, Z. Ma, C. Silva, 2020: Forest nursery seedling production in the United States—Fiscal year 2019. *Tree Planters' Note* 63: 26–31.
- Haase, D.L., A.S. Davis, 2017: Developing and supporting quality nursery facilities and staff are necessary to meet global forest and landscape restoration needs. *Reforesta* 4: 69–93. <https://doi.org/10.21750/REFOR.4.06.4>
- Hassan, K., R. Kataja, A. Pappinen, 2024: State of the art and business development of a tree seedling nursery: A guidebook on advanced forest nursery management. *Publications of the University of Eastern Finland, Reports and Studies in Science, Forestry and Technology*, 8.
- Hubak, T.K., 2023: Utjecaj kondicionera tla na preživljavanje i morfološko-fiziološko stanje šumskih sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) nakon sadnje na terenu. *Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Zagreb*.
- Ingestad, T., A.B. Lund, 1986: Theory and techniques for steady state mineral nutrition and growth of plants. *Scandinavian Journal of Forest Research* 1: 439–453.
- Ivetić, V., J. Devetaković, M. Nonić, D. Stanković, M. Šijačić-Nikolić, 2016: Genetic diversity and forest reproductive material - from seed source selection to planting. *iForest* 9: 801–812. <https://doi.org/10.3832/ifor1577-009>

- Jacobs, D., J.A. Oliet, J. Aronson, A. Bolte, J.M. Bullock, P.J. Donoso, S.M. Landhausser, P. Madsen, S. Peng, J.M. Rey-Benayas, J.C. Weber, 2015: Restoring forests: What constitutes success in the twenty-first century? *New Forest* 46: 601–614. <https://doi.org/10.1007/s11056-015-9513-5>
- Kaushal, P.G., P. Aussenc, 1989: Drought preconditioning of Corsican pine and Cedar of Atlas seedlings: Photosynthesis, transpiration and root regeneration after transplanting. *Acta Oecologica* 11: 61–78.
- Kozłowski, T.T., P.J. Kramer, S.G. Pallardy, 1991: The physiological ecology of woody plants. Academic Press, New York, Tokyo, London, Toronto, Sydney.
- Kozłowski, T.T., S.G. Pallardy, 2002: Acclimation and adaptive response of woody plants to environmental stress. *The Botanical Review* 68: 270–334. [https://doi.org/10.1663/0006-8101\(2002\)068\[0270:AAAROW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0006-8101(2002)068[0270:AAAROW]2.0.CO;2)
- Landis, T.D., 2011: The target plant concept – a history and brief overview. U (Riley, L.E., D.L. Haase, J.R. Pinto, ur.): *National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations* - 2010. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, pp. 61–66.
- Lavender, D.P., 1988: Characterization and manipulation of the physiological quality of planting stock. U (Worrall, J., J. Loo-Dinkins, D. Lester, ur.): *Proceeding of the 10th North American Forest Biology Workshop, Physiology and Genetics of Reforestation*. Vancouver, BC, Canada, 20–22 July 1988, UBC Press, pp. 32–57.
- Luoranen J., R. Rikala, 2011: Nutrient loading of Norway spruce seedlings hastens bud burst and enhances root growth after outplanting. *Silva Fennica* 45 (3): 319–332.
- Malmqvist, C., K. Wallertz, A. Lindström, 2016: Storability and freezing tolerance of Douglas fir and Norway spruce seedlings grown in mid-Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 32: 1–22.
- Marušić, M., N. Potočić, I. Seletković, M. Ognjenović, I. Sirovica, K. Sever, 2021: Utjecaj hraniva u interakciji sa sušnim stresom na fiziološki odziv sadnica bukve u plasteničkom pokusu. U (Ivanković, A., R. Beljo Lučić, D. Čurić, ur.): *Prezentirani radovi na Danu doktorata biotehničkog područja 2021.*, Zagreb, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2021, pp. 54–56.
- Mason, E.G., 2001: A model of the juvenile growth and survival of *Pinus radiata* D. Don: adding the effects of initial seedling diameter and plant handling. *New Forest* 22: 133–158. <https://doi.org/10.1023/A:1012393130118>
- Mataruga, M., B. Cvjetković, B. De Cuyper, I. Aneva, P. Zhelev, P. Cudlín, M. Metslaid, V. Kankaanhuhta, C. Collet, P. Annighöfer, T. Mathes, T. Marianthi, P. Despoina, R.J. Jónsdóttir, M.C. Monteverdi, G. de Dato, B. Mariotti, D.D. Kolevska, J. Lazarević, I. Sundheim Fløistad, M. Klisz, W. Gil, V. Paiva, T. Fonseca, V.N. Nicolescu, V. Popović, J. Devetaković, I. Repáč, G. Božić, H. Kraigher, E. Andivia, J.J. Diez, H. Böhlenius, M. Löf, N. Bilir, P. Villar-Salvador, 2023: Monitoring and control of forest seedling quality in Europe. *Forest Ecology and Management* 546: 121308.
- McDowell, N., W.T. Pockman, C.D. Allen, D.D. Bershears, N. Cobb, T. Kolb, J. Plaut, J. Sperry, A. West, D.G. Williams, E.A. Yezpe, 2008: Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought?. *New Phytologist* 178: 719–739.
- Mexal, J.G., T.D. Landis. 1990: Target seedling concepts: height and diameter. U (Rose, R., S.J. Campbell, T.D. Landis, ur.): *Target seedling symposium: combined proceedings of the Western Forest Nursery Associations*. USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Roseburg, August 13–17, 1990, pp.17–35.
- Mohammed, G.H., 1997: The status and future of stock quality testing. *New Forest* 13: 491–514. <https://doi.org/10.1023/A:1006571718255>
- Morrissey, R.C., D.F. Jacobs, A.S. Davis, R.A. Rathfon, 2010: Survival and competitiveness of *Quercus rubra* regeneration associated with planting stocktype and harvest opening intensity. *New Forest* 40: 273–287. <https://doi.org/10.1007/s11056-010-9199-7>
- Nyoka, B.I., R. Kamanga, J. Njoloma, R. Jamnadass, S. Mng'omba, S. Muwanje, 2018: Quality of tree seedlings produced in nurseries in Malawi: an assessment of morphological attributes. *Forests, Trees and Livelihoods* 27 (2): 103–117. <https://doi.org/10.1080/14728028.2018.1443027>
- Potočić, N., I. Seletković, M. Čater, T. Čosić, M. Šango, M. Vedriš, 2009: Ekofiziološki odziv suncu izloženih sadnica obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) pri različitim razinama gnojdbje. *Šumarski list* 133 (5–6): 289–300. <https://hrcak.srce.hr/39501>
- Puttonen, P., 1997: Looking for the 'silver bullet' – can one test do it all? *New Forest* 13: 9–27. <https://doi.org/10.1023/A:1006557502326>
- Riikonen, J., J. Luoranen, 2018: Seedling production and the field performance of seedlings. *Forests* 9: 740. <https://doi.org/10.3390/f9120740>
- Ritchie, G.A., 1984: Assessing seedling quality. U (Duryea, M.L., T.D. Landis, ur.): *Forest nursery manual: production of bareroot seedlings*. Boston (MA): Martinus Nijhoff/Dr W Junk Publishers, pp. 243–259.
- Ritchie, G.A., 1985: Root growth potential: principles, procedures and predictive ability. U (Duryea, M.L., ur.), *Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests*. Proceedings of a workshop held October 16–18, 1984. Corvallis (OR): Oregon State University, pp. 93–106.
- Ritchie, G.A., T.D. Landis, R.K. Dumroese, 2010: Assessing plant quality. *The Container Tree Nursery Manual*, USDA Forest Service, pp. 17–81.
- Roller, K.J., 1977: Suggested minimum standards for containerized seedlings in Nova Scotia. Fisheries and Environment Canada, Canadian Forestry Service, Maritimes Forest Research Centre. Information Report M-X-69: 18.
- Rose, R., W.C. Carlson, P. Morgan, 1990: The target seedling concept. U (Rose R., S.J. Campbell, T.D. Landis, ur.): *Target seedling symposium: combined proceedings of the Western Forest Nursery Associations*. USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Roseburg, August 13–17, 1990, pp. 1–8.
- Roth, V., 2002: Različita svojstva hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) iz sjemenskih jedinica Hrvatske, u rasadniku i šumskoj kulturi. Doktorski rad, Šumarski fakultet, Zagreb.
- Seletković, I., N. Potočić, A. Jazbec, T. Čosić, T. Jakovljević, 2009: Utjecaj različitih sjetvenih supstrata i vrsta sporotopivih gnojiva na rast i fiziološke parametre sadnica obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) u rasadniku i nakon presađnje. *Šumarski list* 133 (9–10): 469–481. <https://hrcak.srce.hr/42431>
- Seletković, I., N. Potočić, M. Šango, 2011a: Useability of Hungavit, a preparation for foliar application, for enhancement of quality of common beech (*Fagus sylvatica* L.) and pedunculate oak (*Quercus robur* L.) seedlings in nursery production. *Šumarski list* 135 (13): 247–247.
- Seletković, I., N. Potočić, V. Topić, L. Butorac, G. Jelić, A. Jazbec, 2011b: Utjecaj različitih tipova kontejnera i doza sporotopivog gnojiva na rast i fiziološke parametre sadnica crnog bora (*Pinus nigra* Arnold). *Šumarski list* 135 (13): 90–101.
- Shin, H.C., J.H. Yoon, S.M. Choi, Y.B. Park, K.O. Choi, J.H. Lee, E.J. Jin, 2014: Development of Landscape Trees for Indoor Cultivation Using Evergreen Broad-Leaved Tree Species. *National Forest Research Institute, Korea, Seoul*, pp. 14–17.
- Sousa-Silva R., B. Verbist, A. Lomba, P. Valent, M. Suškevičs, O. Picard, M.A. Hoogstra-Klein, V. Cosofret, L. Bouriaud, Q. Ponette, K. Verheyen, B. Muys, 2018: Adapting forest management to climate change in Europe: Linking perceptions to adaptive responses. *Forest Policy and Economics* 90: 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.01.004>
- Srša, S., 2017: Rasadnička klijavost i morfološke značajke dvogodišnjih sadnica (2+0) divlje trešnje (*Prunus avium* L.) različitog načina predstetvene pripreme sjemena. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Zagreb.
- Šolić, I., 2017: Utjecaj ektomikorize na kvalitetu kontejnerskih sadnica primorskog bora (*Pinus pinaster* Aiton). Diplomski rad, Sveučilište u Zagreb, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Zagreb.
- Thiffault N, R. Jobidon, A.D. Munson, 2014: Comparing large containerized and bareroot conifer stock on sites of contrasting vegetation composition in a non-herbicide scenario. *New Forest* 45: 875–891. <https://doi.org/10.1007/s11056-014-9443-7>
- Thompson, B.E. 1985: Seedling morphological evaluation: what you can tell by looking. U (Duryea M.L., ur.): *Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive ability of major tests*. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, OR, pp. 59–72.
- Topić, V., L. Butorac, Z. Đurđević, B. Kekelić, G. Jelić, 2009: Utjecaj tipa kontejnera na rast i razvoj sadnica običnog čempresa (*Cupressus sempervirens* var. *pyramidalis* Nyman) u rasadniku i šumskoj kulturi. *Šumarski list* 133 (3–4): 121–134.
- Toumey, J.W., 1916: Seeding and planting. Wiley, New York.
- Villar-Salvador, P., M. Uscola, D.F. Jacobs, 2015: The role of stored carbohydrates and nitrogen in the growth and stress tolerance of planted forest trees. *New Forests* 46: 813–839. <https://doi.org/10.1007/s11056-015-9499-z>

- Villar-Salvador, P., R. Penúeles, J. Oliet, E. Enriquez, J.L. Penúeles, D.F. Jacobs, M. Gonzalez 2004: Drought tolerance and transplanting performance of holm oak (*Quercus ilex*) seedlings after drought hardening in the nursery. *Tree Physiology* 24: 1147–1155. <https://doi.org/10.1093/treephys/24.10.1147>
- Yousefpour, R., M. Hanewinkel, 2016: Forestry professionals' perceptions of climate change, impacts and adaptation strategies for forests in south-west Germany. *Climatic Change* 130: 273–286. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1330-5>
- Williams, B.J., N.E. Pellett, R.M. Klein, 1972: Phytochrome control of growth cessation and initiation of cold acclimation in selected woody plants. *Plant Physiology* 50: 262–265.
- Zakon o šumskom reprodukcijskom materijalu (NN 75/2009, 61/11, 56/13, 14/14, 32/19, 98/19)
- Zhang W.P., L. Zhao, M. Larjavaara, E.C. Morris, F.J. Sterck, G.X. Wang, 2020: Height-diameter allometric relationships for seedlings and trees across China. *Acta Oecologica* 108: 103621. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103621>

Abstract

Forest reproductive material (FRM) is essential for silvicultural activities. Climate change impacts site suitability for certain species, complicating the planning and execution of activities. High-quality FRM, especially seedlings adapted to local conditions, is crucial for planting to be effective. Seedling quality can be determined by various attributes, but the most important attributes are those that enable the survival and growth of forest seedlings in current and future site conditions. A review of current publications shows a lack of recent scientific studies and active research on the qualitative properties of forest seedlings. Additionally, there is insufficient legal framework for assessing seedling quality based on their morphological and physiological attributes when marketed for most species. The aim of this paper is I) to determine the morphological and physiological attributes of forest seedlings that affect their quality, and II) to provide general recommendations for nursery production of forest seedlings in the face of climate change. The research determined that the quality of forest seedlings requires the integration of morphological and physiological attributes, emphasizing the most important ones for the survival and growth of seedlings in the field. For each attribute, its significance for seedling survival and growth in the field is described, along with the determination method. Nursery production programs and general recommendations for producing forest seedlings due to climate changes are emphasized. While difficult to predict, threats are inevitable; therefore, a quality production program is more essential than ever.

Keywords: morphological attributes, physiological attributes, nursery production, quality of forest seedlings

Zeleni koridori kao alat prostornog povezivanja i održivog razvoja

Green Corridors as a Tool for Spatial Connectivity and Sustainable Development

Mihael Delić¹, Kruno Lepoglavec², Hrvoje Nevečerel²

¹ Sveučilište u Zagrebu Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Zagreb - student

² Sveučilište u Zagrebu Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Zagreb

* Dopisni autor: Hrvoje Nevečerel, e-mail: hnevecerel@sumfak.unizg.hr

Sažetak

Zeleni koridori predstavljaju važan element zelene infrastrukture koji omogućuje funkcionalno, ekološko i društveno povezivanje urbanih, ruralnih i prirodnih prostora. U Sisačko-moslavačkoj županiji, obilježenoj raznolikim krajobrazima, depopulacijskim trendovima i velikim udjelom šumskih i poljoprivrednih površina, njihova planska uspostava ima poseban značaj za održivi prostorni razvoj. Cilj ovog rada je analizirati mogućnosti primjene parkovnih tehnika u oblikovanju mreže zelenih koridora te ukazati na ulogu šumarske struke u integraciji postojeće prometne i šumske infrastrukture u sustav pješačko-biciklističkog povezivanja prostora. Metodološki pristup temelji se na kombinaciji terenske i uredske analize, prostorne interpretacije te tipološke razrade profila staza i parkovnih elemenata. Analizirano je ukupno 16 zelenih koridora koji povezuju ključna naselja, prirodne i kulturne vrijednosti županije. Za svaki koridor identificirane su dominantne kategorije prometnica, primijenjeni profili staza te planirane parkovne tehnike i prostorne funkcije. Rezultati su objedinjeni u sumarnoj Tablici 1 koja omogućuje preglednu usporedbu i evaluaciju rješenja. Dobiveni rezultati ukazuju na značajan potencijal postojećih šumskih prometnica i nerazvrstanih cesta za nenametljivo uključivanje u mrežu zelenih koridora, uz minimalne prostorne intervencije. Parkovne tehnike, poput odmorišta, interpretacijskih točaka i jednostavnih prijelaza, imaju ključnu ulogu u povećanju sigurnosti, čitljivosti i korištenja prostora. Posebno se ističe doprinos šumarske struke u planiranju, gospodarenju i razvoju ovakvih sustava, s naglaskom na očuvanje krajobraznih vrijednosti i multifunkcionalnu uporabu prostora. Rad daje stručni okvir i praktične smjernice za daljnji razvoj zelenih koridora kao alata održive mobilnosti, rekreacije i prostorne kohezije u ruralnim i rubnim područjima.

Ključne riječi:

zeleni koridori, održivi razvoj, prostorno povezivanje, parkovne tehnike, metodologija prostornog planiranja

DOI:

<https://doi.org/10.31298/sl.150.1-2.6>

Kako citirati / How to Cite:

- Delić, M., K. Lepoglavec, H. Nevečerel, 2026: Zeleni koridori kao alat prostornog povezivanja i održivog razvoja. Šumarski list 150 (1–2): 55–64. <https://doi.org/10.31298/sl.150.1-2.6>



This work is licensed under a Creative Commons
Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

UVOD

INTRODUCTION

Zeleni koridori sve se češće prepoznaju kao ključni element zelene infrastrukture u prostornom planiranju, osobito u kontekstu održivog razvoja, povezivanja urbanih i ruralnih područja te očuvanja prirodnih i krajobraznih vrijednosti. U stručnoj i znanstvenoj literaturi definiraju se kao linearni prostorni elementi koji omogućuju kontinuitet ekoloških, rekreacijskih i društvenih funkcija prostora, istodobno povezujući prirodna područja, naselja i kulturne resurse (Forman i Godron 1986; Ahern 2002, 2013; Benedict i McMahon 2006).

U europskom kontekstu zeleni koridori koriste se kao integrirani alat za razvoj održive mobilnosti, smanjenje ovisnosti o motoriziranom prometu te povećanje dostupnosti prirodnih i kulturnih sadržaja lokalnom stanovništvu. Poseban naglasak stavlja se na korištenje postojeće infrastrukture, prilagodbu zatečenim prostornim uvjetima i primjenu niskoinvazivnih rješenja, čime se smanjuju fragmentacija prostora i negativan utjecaj na ekosustave (Forman i Godron 1986, Forman 2014, European Commission 2020).

Ideja zelene infrastrukture dodatno se razvija kroz interdisciplinarnu pristupe koji povezuju krajobraznu ekologiju, prostorno i prometno planiranje te upravljanje prirodnim resursima. Istraživanja pokazuju kako dobro planirani zeleni koridori mogu istodobno doprinosti očuvanju biološke raznolikosti, razvoju rekreacijskih funkcija i jačanju lokalnih zajednica, osobito u ruralnim i demografski osjetljivim područjima (Benedict i McMahon 2006, Tzoulas i dr. 2007, Ahern 2013).

Koncept zelenih koridora blisko je povezan s razvojem „greenways” sustava koji se opisuju kao višefunkcionalni linearni prostori namijenjeni povezivanju prirodnih, rekreacijskih i kulturnih vrijednosti, a koji istodobno potiču nemotorizirano kretanje i očuvanje krajobrazne strukture (Fabos 2004, Hellmund i Smith 2006). U tom kontekstu posebno se naglašava multifunkcionalnost, pri čemu isti prostorni elementi mogu istodobno pružati ekološke, društvene, rekreacijske i prometne funkcije, osobito u prijelaznim zonama između urbanih i ruralnih područja (European Commission 2013, Hansen i Pauleit 2014).

Povezanost zelenih prostora s javnim zdravljem i kvalitetom života dodatno potvrđuje potrebu za sustavnim planiranjem dostupnih pješačko-biciklističkih mreža koje pozitivno utječu na fizičko i mentalno zdravlje stanovništva (Tzoulas i dr. 2007, WHO 2017).

U tom kontekstu šumarska struka može imati značajnu ulogu u planiranju i oblikovanju zelenih koridora, osobito kroz znanja o krajobraznim procesima, šumskoj infrastrukturi i prostornom povezivanju šumskih, poljoprivrednih i naseljenih područja. Korištenje postojećih šumskih prometnica, uz njihovu prilagodbu rekreacijskim i pješačko-biciklističkim funkcijama, predstavlja racionalan i održiv pristup koji omogućuje novu prostornu funkciju bez narušavanja temeljnih vrijednosti šumskih ekosustava (Makhzoumi i Pungetti 2003, Forman 2014, Andlar i Hrdalo 2018).

Cilj ovoga rada bio je analizirati mogućnosti primjene parkovnih tehnika u oblikovanju mreže zelenih koridora na području Sisačko-moslavačke županije, s naglaskom na integraciju postojeće prometne i šumske infrastrukture.

Posebni ciljevi rada bili su:

- identificirati i analizirati prostorne značajke 16 predloženih zelenih koridora,
- utvrditi mogućnosti primjene različitih profila staza i parkovnih tehnika u odnosu na prostorni kontekst,
- prikazati sumarni pregled rješenja kroz tablični prikaz kao alat za usporedbu i daljnje planiranje,
- raspraviti ulogu šumarske struke u povezivanju urbanih, ruralnih i prirodnih prostora kroz neinvazivna prostorna rješenja.

Rad se temelji na kombinaciji terenske i uredske analize, a rezultati su prikazani u obliku sumarne tablice koja omogućuje pregled funkcionalnih, prostorno-krajobraznih i infrastrukturnih obilježja pojedinih koridora. Time se nastoji dati stručni doprinos razvoju zelenih koridora kao praktičnog alata održivog prostornog planiranja i upravljanja krajobrazom (Benedict i McMahon 2006, Ahern 2013).

MATERIJAL I METODE

MATERIAL AND METHODS

Područje istraživanja – Study Area

Područje istraživanja obuhvaća prostor Sisačko-moslavačke županije, koja se odlikuje izrazitom krajobraznom i prostornom raznolikošću. Županiju karakterizira velik udio šumskih kompleksa, razvijeni riječni sustavi Save, Kupe, Lonje i Petrinjčice, prostrane poljoprivredne površine te mreža manjih urbanih i ruralnih naselja. Takva prostorna struktura stvara povoljne preduvjete za razvoj mreže zelenih koridora koji mogu povezivati naseljena područja s prirodnim i kulturnim vrijednostima prostora. Također, istodobno postavlja i niz izazova vezanih uz depopulaciju, slabiju prometnu povezanost te nedovoljnu integraciju različitih sektorskih politika razvoja (European Commission 2020, Sisačko-moslavačka županija 2021).

Posebno značajan element prostora čine poplavne nizine i močvarna područja, među kojima se ističe Park prirode Lonjsko polje kao jedno od najvrjednijih očuvanih prirodnih područja nizinske Hrvatske. Prisutnost zaštićenih područja, osjetljivih ekosustava i velikih kontinuiranih šumskih površina dodatno naglašava potrebu za pažljivim i niskoinvazivnim pristupom prostornom planiranju i povezivanju. U tom se kontekstu primjenjuju opća načela krajobrazne ekologije i zelene infrastrukture, prema kojima prostorno povezivanje mora osigurati funkcionalnost prostora uz istodobno očuvanje njegovih prirodnih vrijednosti (Forman i Godron 1986, Benedict i McMahon 2006).

Sisačko-moslavačka županija suočava se i s izraženim demografskim izazovima, osobito u ruralnim područjima gdje su depopulacija i slabija prometna povezanost dodatno naglašene nakon ratnih i potresnih razaranja. Upravo u takvom kontekstu razvoj zelenih koridora može imati višestruku ulogu: kao alat prostornog povezivanja, kao potpora održivoj mobilnosti te kao okvir za razvoj rekreacijskih, edukativnih i turističkih funkcija prostora.

Istraživanje je obuhvatilo 16 predloženih zelenih koridora raspoređenih na području cijele županije, pri čemu su analizirani njihovi prostorni konteksti, postojeća prometna i šumska infrastruktura te mogućnosti primjene parkovnih tehnika. Odabrani koridori obuhvaćaju različite tipove pros-

tora – od urbanih i prigradskih područja, preko poljoprivrednih krajolika, do šumskih i zaštićenih prirodnih područja – čime se omogućuje cjelovit uvid u potencijal primjene zelenih koridora u raznolikim prostornim uvjetima.

Izvori podataka i analitički postupci – *Data Sources and Analytical Procedures*

Istraživanje se temelji na kombinaciji uredskih i terenskih metoda, uz primjenu načela krajobrazne ekologije, zelene infrastrukture i parkovnih tehnika u prostornom planiranju. Metodološki pristup oblikovan je tako da omogući sustavnu analizu prostornog konteksta, postojeće infrastrukture i potencijala za uspostavu zelenih koridora u različitim tipovima krajolika.

Kombinacija terenskog uvida i uredske analize omogućila je vrednovanje funkcionalnih i krajobraznih obilježja koridora u stvarnom prostoru, što se u literaturi ističe kao ključan preduvjet za primjenjivost rezultata u prostornom planiranju i upravljanju krajobrazom (Antrop 2004, Forman 2014).

Izvori podataka – *Data Sources*

U istraživanju su korišteni sljedeći izvori podataka:

- prostorno-planska dokumentacija (županijski, gradski i općinski prostorni planovi);
- kartografski i prostorni podaci, uključujući katastarske podloge, ortofoto snimke i topografske karte;
- digitalni prostorni alati (GIS i web-kartografske platforme) za analizu trase, nagiba terena, odnosa prema vodotocima i naseljima;
- terenski obilasci odabranih dionica radi provjere stvarnog stanja prometnice, šumskih putova i prostora potencijalnih zahvata;
- stručna i znanstvena literatura iz područja krajobrazne ekologije, zelene infrastrukture, parkovnih tehnika i prostornog planiranja.

Posebna pažnja posvećena je identifikaciji i analizi postojeće prometne i šumske infrastrukture, uključujući državne, županijske, lokalne i nerazvrstane ceste, kao i primarne i sekundarne šumske prometnice koje predstavljaju temelj za oblikovanje zelenih koridora bez potrebe za značajnim novim zahvatima u prostoru.

Analitički postupci – *Analytical Procedures*

Analiza je provedena kroz nekoliko međusobno povezanih koraka:

1. Identifikacija koridora – Na temelju prostorne analize i terenskih uvida identificirano je 16 potencijalnih zelenih koridora koji povezuju urbana središta, ruralna naselja, šumske komplekse i prirodno vrijedna područja.
2. Analiza prostornog konteksta – Za svaki koridor analizirani su dominantni tipovi prostora (urbani, ruralni, poljoprivredni, šumski, prirodni), odnos prema vodotocima i naseljima te krajobrazne značajke koje utječu na izbor rješenja.
3. Klasifikacija prometne i šumske infrastrukture – Postojeće prometnice i šumske prometnice razvrstane su prema funkciji i mogućnostima prilagodbe za nemotorizirani promet, s ciljem racionalnog korištenja zatečene infrastrukture.

4. Definiranje profila staza – Na temelju prostornog konteksta i stupnja prometnog opterećenja definirani su odgovarajući profili staza (S-TIP 1, S-TIP 2A, S-TIP 2B, S-TIP 3 i S-TIP 4) koji su detaljno opisani u posebnom poglavlju rada.

5. Odabir parkovnih tehnika – Za svaki koridor predložene su parkovne tehnike i jednostavni parkovni elementi (npr. staze, klupe, odmorišta, vidikovci, interpretacijske ploče, mosnice i mostovi), prilagođeni prostornim i krajobraznim uvjetima.

6. Sumarni prikaz rezultata – Rezultati analize objedinjeni su u sumarnoj tablici, koja omogućuje usporedbu koridora prema prometnoj infrastrukturi, primijenjenim profilima staza, parkovnim tehnikama i dominantnim funkcijama prostora.

Na temelju prostorne analize i uočenih tipova prometnica i prostora definirana je tipologija profila staza (S-TIP), koja predstavlja osnovni metodološki alat za oblikovanje i usporedbu predloženih zelenih koridora. Primijenjeni metodološki pristup omogućuje da se složeni prostorni odnosi prikažu pregledno i usporedivo, bez potrebe za detaljnim tehničkim projektiranjem pojedinih dionica.

Metodološki pristup rada oslanja se na principe krajobrazne analize i prostornog planiranja koji se primjenjuju u istraživanjima zelene infrastrukture i *greenways* sustava, pri čemu se naglasak stavlja na integraciju postojećih prometnih i krajobraznih elemenata te prilagodbu lokalnim prostornim uvjetima (Ignatieva i dr. 2011, Landscape Institute 2013).

Tipologija i profili staza (S-TIP) – *Trail Typology and Trail Profiles (S-TIP)*

Kako bi se omogućila usporedba i sustavna obrada različitih prostornih situacija unutar mreže zelenih koridora, u radu su definirani tipizirani profili staza (S-TIP). Profili predstavljaju metodološki alat kojim se standardizira način kretanja pješaka i biciklista u odnosu na prostorno okruženje, postojeću infrastrukturu i intenzitet prometa.

Primjena tipiziranih profila omogućuje:

- jasno povezivanje metodologije i rezultata,
- prilagodbu rješenja različitim krajobraznim i funkcionalnim uvjetima,
- usporedivost pojedinih koridora bez potrebe za opsežnim opisima trase.

Svaki od profila definiran je prema odnosu staze i kolnika, načinu odvajanja nemotoriziranog prometa, prostornim ograničenjima i razini zahvata u prostor.

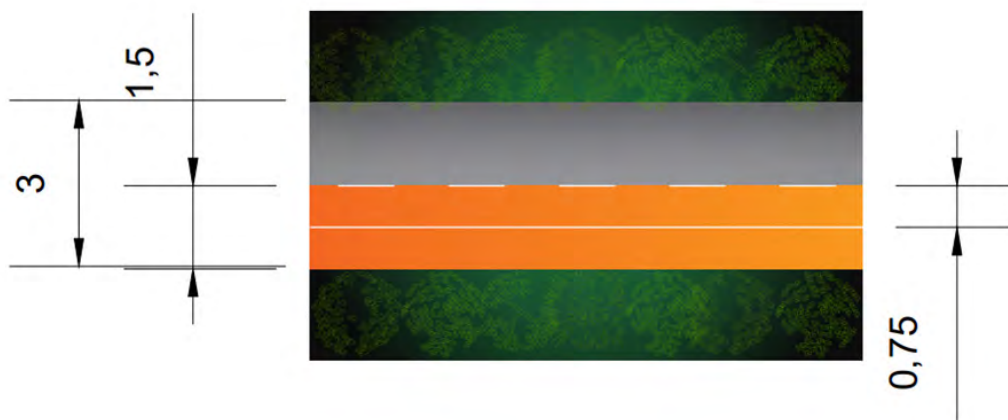
S-TIP 1 – Kretanje unutar prometnice u urbanom i prigradskom prostoru

Profil S-TIP 1 primjenjuje se u naseljenim područjima, gdje se pješačko i biciklističko kretanje odvija uz ili unutar postojeće prometnice (Slika 1). Karakterizira ga:

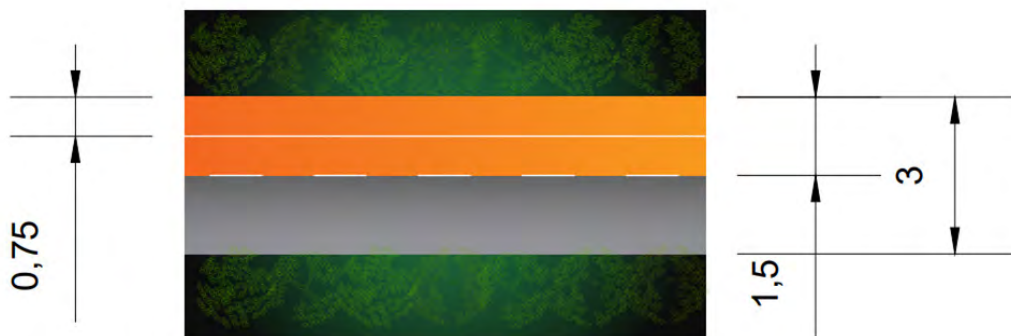
- jasno odvajanje pješačkog prometa (pločnik),
- uvođenje mjera ograničenja brzine i povećanja sigurnosti nemotoriziranog prometa ili,
- mogućnost sadnje drvoreda i ugradnje parkovnih elemenata.



Slika 1. Staza S-TIP 1 profil.
 Figure 1 Track S-TIP 1 profile.



Slika 2. Staza S-TIP 2A profil.
 Figure 2 Track S-TIP 2A profile.



Slika 3. Staza S-TIP 2B profil.
 Figure 3 Track S-TIP 2B profile.

Ovaj profil posebno je važan u urbanim i prijelaznim zonama, gdje zeleni koridori imaju izraženu društvenu i sigurnosnu funkciju.

S-TIP 2 – Odvojena pješačko-biciklistička staza uz prometnicu

Profil S-TIP 2 obuhvaća situacije u kojima je moguće fizičko odvajanje nemotoriziranog prometa od kolnika, ali se staza i dalje nalazi u neposrednoj blizini ceste (Slika 2, Slika 3). U radu se koristi nekoliko podvarijanti (2A, 2B), ovisno o širini prostora i prometnom opterećenju.

Ovaj tip omogućuje:

- povećanu sigurnost korisnika,
- kontinuirano kretanje uz prometnice višeg reda,
- integraciju krajobraznih elemenata bez velikih infrastrukturnih zahvata.

S-TIP 3 – Samostalna staza izvan kolnika

Profil S-TIP 3 odnosi se na staze koje su u potpunosti izdvojene od kolnika i prolaze kroz šumske, poljoprivredne ili prirodne prostore (Slika 4). Kretanje se odvija postojećim šumskim prometnicama, poljskim putevima ili nasipima, uz minimalne intervencije u teren.



Slika 4. Prijelaz staze iz S-TIP 3 u S-TIP 4.

Figure 4 Transition from S-TIP 3 to S-TIP 4 profile.

Ovaj profil karakterizira:

- korištenje postojećih šumskih i poljoprivrednih prometnica,
- jednostavno uređenje trase,
- primjena jednostavnih parkovnih elemenata (klupe, oznake, mosnice).

Profil je osobito prikladan za povezivanje prirodnih cjelina i kulturnih lokaliteta uz naglasak na neinvazivno korištenje prostora.

S-TIP 4 – Staze u osjetljivim i močvarnim područjima

Profil S-TIP 4 primjenjuje se u prostorno osjetljivim područjima, poput poplavnih ravnica i močvarnih staništa (Slika 4). Kretanje se omogućuje podizanjem staze iznad terena „mosnicama“, čime se smanjuje negativan utjecaj na prirodne procese.

Obilježja profila uključuju:

- drvene ili kombinirane konstrukcije,
- prilagodbu promjenama vodostaja,
- naglašenu edukativnu i interpretacijsku funkciju.

Uloga profila staza u interpretaciji rezultata – The Role of Trail Profiles in the Interpretation of Results

Primijenjeni profili staza navedeni su u sumarnoj tablici rezultata (Tablica 1) za svaki od 16 zelenih koridora. Njihova uloga nije normativna, već interpretativna – profili služe kao okvir za razumijevanje prostorne logike koridora i razine zahvata u prostor.

Na taj način omogućeno je da se složeni prostorni odnosi prikažu sažeto, a istodobno dovoljno jasno da čitatelj može razumjeti razloge odabira pojedinih rješenja.

Metodološko ograničenje i fokus rada

Metodologija je usmjerena na konceptualnu i prostornu razinu planiranja, a ne na detaljno tehničko projektiranje pojedinih zahvata. Cilj istraživanja nije izrada izvedbenih rješenja, već razvoj primjenjivog metodološkog okvira koji može poslužiti kao podloga za daljnje planiranje, projektiranje i donošenje odluka u području razvoja zelenih koridora.

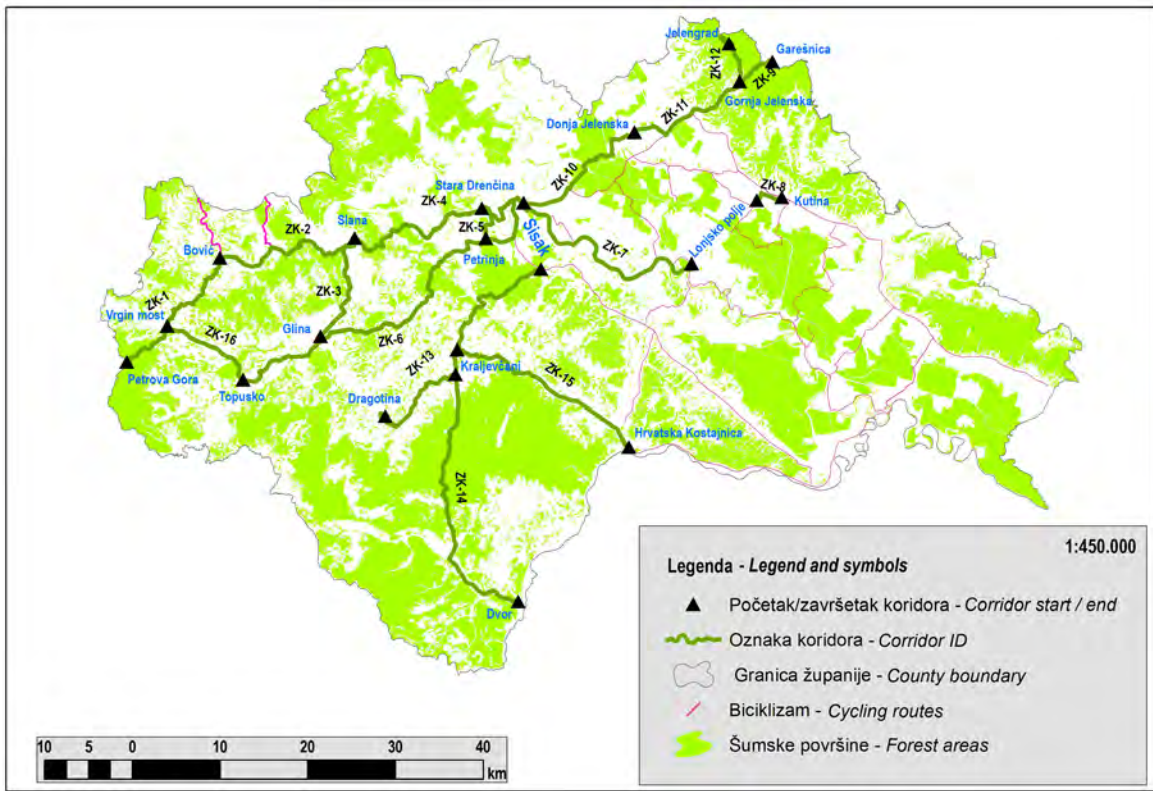
REZULTATI

RESULTS

Na temelju provedene terenske i uredske analize identificirano je 16 zelenih koridora na području Sisačko-moslavačke županije, koji povezuju urbana, ruralna i prirodna područja različitih krajobraznih i funkcionalnih obilježja. Koridori su definirani sukladno prethodno opisanoj metodologiji, uz korištenje postojeće prometne i šumske infrastrukture te

primjenu parkovnih tehnika prilagođenih prostornom kontekstu.

Prostorni raspored analiziranih koridora prikazan je na karti (Slika 5), koja daje pregled njihove međusobne povezanosti i položaja u odnosu na naselja, šumske komplekse, vodotoke i kulturne lokalitete. Karta predstavlja sumarni prikaz rezultata i služi kao prostorna podloga za razumijevanje daljnje analize i interpretacije pojedinih koridora.



Slika 5. Prostorni raspored zelenih koridora u Sisačko-moslavačkoj županiji.
Figure 5 Spatial layout of green corridors in Sisak-Moslavina County.

Tablica 1. Pregled planiranih zelenih koridora – sumarna tablica rezultata.
Table 1 Overview of planned green corridors – summary table of results.

Oznaka koridora <i>Corridor ID</i>	Naziv koridora <i>Corridor Name</i>	Kategorija prometnice <i>Road Category</i>	Primijenjeni profili staza <i>Applied Trail Profiles</i>	Planirane parkovne tehnike <i>Planned Park Techniques</i>	Dominantne funkcije <i>Dominant Functions</i>	Prostorni doprinos <i>Spatial Contribution</i>
ZK-1	Bović – Petrova Gora	ŽC, NC, ŠP	S-TIP 1, 2A, 3, 4	staze, klupe, odmorišta, vidikovac, informacijska točka, drvoored <i>paths, benches, rest areas, viewpoint, information point, tree alley</i>	rekreacija, mobilnost, turizam <i>recreation, mobility, tourism</i>	međužupanijska brdsko-šumska poveznica, kulturno-krajobrazna integracija <i>inter-county mountain-forest corridor, culture-landscape integration</i>
ZK-2	Bović – Slana	DC, ŽC, NC, ŠP	S-TIP 1, 2A, 3	staze, klupe, informacijska točka, drvoored <i>paths, benches, information point, tree alley</i>	mobilnost, rekreacija, turizam <i>mobility, recreation, tourism</i>	regionalna kralježnica koridora <i>regional corridor backbone</i>
ZK-3	Slana – Glina	DC, ŽC, LC, NC	S-TIP 1, 2A, 3	staze, klupe, vidikovac, informacijska točka, drvoored <i>paths, benches, viewpoint, information point, tree alley</i>	mobilnost <i>mobility</i>	ruralno-urbana integracija <i>rural-urban integration</i>

Oznaka koridora <i>Corridor ID</i>	Naziv koridora <i>Corridor Name</i>	Kategorija prometnice <i>Road Category</i>	Primijenjeni profili staza <i>Applied Trail Profiles</i>	Planirane parkovne tehnike <i>Planned Park Techniques</i>	Dominantne funkcije <i>Dominant Functions</i>	Prostorni doprinos <i>Spatial Contribution</i>
ZK-4	Slana – Sisak	DC, ŽC, LC, NC, ŠP	S-TIP 1, 2A, 3, 4	staze, klupe, informacijska točka, drvored, most, skela <i>paths, benches, information point, tree alley, bridge, boardwalk</i>	turizam, edukacija, agroturizam <i>tourism, education, agrotourism</i>	regionalna kralježnica koridora <i>regional corridor backbone</i>
ZK-5	Stara Drenčina – Petrinja	DC, ŽC, LC, NC	S-TIP 1, 2A, 3	staze, klupe, drvored, skela <i>paths, benches, tree alley, boardwalk</i>	rekreacija, agroturizam <i>recreation, agrotourism</i>	krajobrazna povezanost <i>landscape connectivity</i>
ZK-6	Topusko – Sisak	DC, ŽC, LC, NC	S-TIP 1, 2A, 3	staze, klupe, vidikovac, drvored <i>paths, benches, viewpoint, tree alley</i>	turizam, rekreacija <i>tourism, recreation</i>	regionalna kralježnica koridora <i>regional corridor backbone</i>
ZK-7	Sisak – Lonjsko polje	DC, ŽC, LC, NC	S-TIP 1, 2B, 3	staze, klupe, drvored, skela <i>paths, benches, tree alley, boardwalk</i>	rekreacija, edukacija, turizam <i>recreation, education, tourism</i>	integracija urbanog i zaštićenog prostora <i>integration of urban and protected areas</i>
ZK-8	Kutina – Lonjsko polje	ŽC, LC, NC	S-TIP 1, 2A, 2B, 3	staze, klupe, drvored, odmorišta <i>paths, benches, tree alley, rest areas</i>	rekreacija, turizam <i>recreation, tourism</i>	povezivanje grada i parka prirode <i>connection between the town and the nature park</i>
ZK-9	Gornja Jelenska – Garešnica	ŽC, NC, ŠP	S-TIP 1, 2A, 3	staze, klupe, informacijska točka <i>paths, benches, information point</i>	rekreacija, turizam <i>recreation, tourism</i>	međuzupanijska brdsko-šumska poveznica <i>inter-county mountain-forest corridor</i>
ZK-10	Donja Jelenska – Sisak	ŽC, LC, NC, ŠP	S-TIP 1, 2B, 3, 4	staze, klupe, most, informacijska točka <i>paths, benches, bridge, information point</i>	mobilnost, agroturizam <i>mobility, agrotourism</i>	ruralno-urbana integracija <i>rural-urban integration</i>
ZK-11	Gornja Jelenska – Donja Jelenska	ŽC, LC, NC	S-TIP 1, 2A, 3	staze, klupe, drvored <i>paths, benches, tree alley</i>	rekreacija <i>recreation</i>	povezivanje koridora <i>corridor linkage</i>
ZK-12	Gornja Jelenska – Jelengrad	ŽC, NC, ŠP	S-TIP 1, 2A, 3, 4	staze, klupe, odmorište, vidikovac <i>paths, benches, rest area, viewpoint</i>	rekreacija, turizam <i>recreation, tourism</i>	kulturno-krajobrazna integracija <i>culture-landscape integration</i>
ZK-13	Dragotina – Sisak	DC, ŽC, LC, NC	S-TIP 1, 2A, 3, 4	staze, klupe, most, informacijska točka <i>paths, benches, bridge, information point</i>	rekreacija, mobilnost, agroturizam <i>recreation, mobility, agrotourism</i>	alternativna prometna veza <i>alternative mobility link</i>
ZK-14	Dvor – Kraljevcani	DC, ŽC, NC, ŠP	S-TIP 1, 2B, 3	staze, klupe, informacijska točka, drvored <i>paths, benches, information point, tree alley</i>	rekreacija, mobilnost <i>recreation, mobility</i>	povezivanje Zrinske gore <i>connection of the Zrinska Gora area</i>
ZK-15	Hrvatska Kostajnica – Kraljevcani	DC, ŽC, LC	S-TIP 1, 2A	staze, klupe, drvored <i>paths, benches, tree alley</i>	rekreacija, mobilnost <i>recreation, mobility</i>	međuregionalna poveznica, povezivanje Zrinske gore <i>inter-regional connection, connection of the Zrinska Gora area</i>
ZK-16	Vrginmost – Topusko	DC, ŽC	S-TIP 1	klupe, drvored <i>benches, tree alley</i>	rekreacija, turizam <i>recreation, tourism</i>	povezivanje koridora <i>corridor linkage</i>

Sumarni pregled osnovnih obilježja svih analiziranih koridora prikazan je u Tablici 1. Tablica obuhvaća podatke o kategorijama prometnica, primijenjenim profilima staza (S-TIP), planiranim parkovnim tehnikama, dominantnim funkcijama te prostornom doprinosu svakog koridora. Takav prikaz omogućuje usporedbu pojedinih rješenja i prepoznavanje ponavljajućih obrazaca u planiranju zelenih koridora na razini cijelog istraživnog područja.

Analiza prikazana u Tablici 1 pokazuje da se većina zelenih koridora temelji na kombinaciji postojećih prometnica i šumskih prometnica, pri čemu se novi zahvati svode na minimalne i cilijane intervencije. Time se potvrđuje mogućnost uspostave funkcionalne mreže zelenih koridora oslanjanjem na postojeću infrastrukturnu osnovu, uz ograničenu potrebu za novim zahvatima u prostoru.

Primijenjeni profili staza pokazuju jasnu diferencijaciju u odnosu na prostorni kontekst. Profil S-TIP 1 prevladava u urbanim i naseljenim područjima, gdje je nužno osigurati sigurnost pješaka i biciklista uz promet motornih vozila. Profili S-TIP 2 i S-TIP 3 najčešće se primjenjuju u prijelaznim i ruralnim zonama, dok su profili S-TIP 4 zastupljeni u osjetljivim prirodnim područjima, osobito u močvarnim i poplavnim zonama.

Planirane parkovne tehnike u većini koridora imaju nenametljiv karakter, s naglaskom na odmorišta, interpretacijske ploče i jednostavne parkovne elemente. Takav pristup upućuje na to da je osnovna vrijednost zelenih koridora u prostornoj povezanosti i funkcionalnosti trase, a ne u intenzivnoj parkovnoj opremljenosti.

Rezultati također ukazuju na značajan udio šumskih prometnica u strukturi analiziranih koridora, osobito u ruralnim i šumskim područjima. Njihova integracija u mrežu zelenih koridora omogućuje kontinuitet kretanja i povezivanje prostora uz zadržavanje postojećih krajobraznih i infrastrukturnih obilježja.

RASPRAVA

DISCUSION

Rezultati analize zelenih koridora potvrđuju da je moguće razviti funkcionalnu i prostorno koherentnu mrežu zelenih koridora uz oslanjanje na postojeću prometnu i šumsku infrastrukturu. Takav pristup u skladu je s načelima održivog prostornog planiranja i zelene infrastrukture, koja naglašavaju racionalno korištenje prostora, smanjenje novih zahvata i očuvanje krajobraznih vrijednosti (Benedict i McMahon 2006, Ahern 2013).

Dominantna uporaba postojećih prometnica i šumskih prometnica u analiziranim koridorima ukazuje na visok potencijal prilagodbe zatečenih trasa rekreacijskim i pješačko-biciklističkim funkcijama. Time se zeleni koridori ne promatraju kao zasebni infrastrukturni sustavi, već kao nadogradnja postojećih prostorno-funkcionalnih struktura. Takav koncept smanjuje troškove izgradnje i održavanja te istodobno umanjuje rizik fragmentacije prostora, što je posebno važno u osjetljivim prirodnim i krajobraznim područjima.

Dobiveni rezultati potvrđuju da planiranje zelenih koridora zahtijeva interdisciplinarni pristup koji povezuje šumarstvo, prostorno planiranje, krajobraznu arhitekturu i prometno planiranje. Slični zaključci istaknuti su i u drugim istraživanjima, gdje se naglašava da upravo suradnja različitih struka

omogućuje stvaranje funkcionalnih i dugoročno održivih rješenja zelene infrastrukture (Escobedo i dr. 2011, Hansen i Pauleit 2014).

Primjena različitih profila staza pokazuje jasnu prilagodbu prostornom kontekstu. Profil S-TIP 1 logično je zastupljen u urbanim i naseljenim područjima, gdje je sigurnost korisnika ključni kriterij oblikovanja trase. U prijelaznim i ruralnim zonama prevladavaju profili S-TIP 2 i S-TIP 3, koji omogućuju fleksibilno korištenje prostora uz zadržavanje krajobraznog karaktera. U prirodno osjetljivim područjima, osobito u močvarnim i poplavnim zonama, primjena profila S-TIP 4 potvrđuje potrebu za niskoinvazivnim rješenjima koja poštuju ekološka ograničenja prostora.

Analiza planiranih parkovnih tehnika dodatno naglašava funkcionalni karakter zelenih koridora. U većini slučajeva predviđeni su jednostavni parkovni elementi, poput odmorišta i interpretacijskih ploča, dok se intenzivnija parkovna oprema koristi selektivno. Takav pristup u skladu je s istraživanjima koja ističu da prekomjerno opremanje može umanjiti doživljaj prostora i narušiti krajobraznu cjelovitost, osobito u ruralnim i prirodnim područjima (Tzoulas i dr. 2007).

Posebno se ističe uloga šumarske struke u procesu planiranja i oblikovanja zelenih koridora. Integracija šumskih prometnica u mrežu zelenih koridora zahtijeva poznavanje šumskih ekosustava, krajobraznih procesa i funkcionalnih ograničenja šumskog prostora. Upravo ta znanja omogućuju neinvazivno korištenje šumskih kompleksa, uz očuvanje njihovih ekoloških, proizvodnih i zaštitnih funkcija. Time se šumarska struka pozicionira kao važan dionik u interdisciplinarnom planiranju zelenih koridora, osobito u povezivanju urbanih, ruralnih i prirodnih prostora.

U tom smislu, uloga šumarske struke nadilazi tradicionalno gospodarenje šumama te se proširuje na aktivno sudjelovanje u planiranju rekreacijskih i mobilnih mreža, osobito u periurbanim i ruralnim područjima gdje šumski kompleksi predstavljaju ključni prostorni resurs (Nilsson i dr. 2010, Konijnendijk i dr. 2013).

Usporedbom dobivenih rezultata s drugim istraživanjima zelene infrastrukture može se zaključiti da su analizirani koridori u skladu s europskim trendovima razvoja zelenih mreža koje naglašavaju višefunkcionalnost, prilagodbu lokalnom kontekstu i aktivnu ulogu postojećih infrastrukturnih elemenata (Ahern 2013, Forman 2014). Iako je istraživanje provedeno na primjeru Sisačko-moslavačke županije, metodološki pristup i rezultati imaju širu primjenjivost te mogu poslužiti kao smjernice za planiranje zelenih koridora u sličnim prostornim i krajobraznim uvjetima.

Dodatno, rezultati upućuju na potrebu interdisciplinarnog pristupa u planiranju i provedbi zelenih koridora. Iako je šumarska struka ključna u razumijevanju krajobraznih procesa i korištenju šumske infrastrukture, uspješna realizacija ovakvih rješenja zahtijeva suradnju s prostornim planerima, prometnim inženjerima, krajobraznim arhitektima i stručnjacima za zaštitu prirode. Takva suradnja omogućuje usklađivanje funkcionalnih zahtjeva prometne sigurnosti, rekreacije i očuvanja prostora unutar jedinstvenog prostornog koncepta.

Zeleni koridori u tom smislu djeluju kao integracijski prostorni elementi koji povezuju različite sektorske politike – od prostornog planiranja i šumarstva do turizma, javnog zdravlja i zaštite okoliša. Upravo ta višeslojnost čini ih pogodnim alatom za suvremeni razvoj ruralnih i prijelaz-

nih područja, gdje se prostorni problemi ne mogu rješavati unutar jedne struke ili jedne planske razine.

Osim prostorne i ekološke vrijednosti, zeleni koridori imaju izraženu društvenu dimenziju jer omogućuju svakodnevno korištenje prostora različitim skupinama korisnika, pri čemu doživljaj sigurnosti, čitljivosti i povezanosti prostora ima ključnu ulogu u prihvaćanju ovakvih rješenja (Thwaites i Simkins 2006, WHO 2017).

ZAKLJUČCI

CONCLUSIONS

Ovim radom razrađen je koncept mreže zelenih koridora na području Sisačko-moslavačke županije, s naglaskom na primjenu parkovnih tehnika i integraciju postojeće prometne i šumske infrastrukture. Analizom 16 odabranih koridora potvrđeno je da je moguće oblikovati funkcionalne, sigurne i prostorno logične veze između urbanih, ruralnih i prirodnih područja uz minimalne i ciljane zahvate u prostoru.

Primijenjena metodologija, koja kombinira terensku i uredsku analizu, prostorno-planerski pristup te stručna znanja šumarske struke, pokazala se primjenjivom u različitim prostornim kontekstima – od urbanih rubova i naselja, preko poljoprivrednih površina, do šumskih kompleksa i zaštićenih područja. Posebna vrijednost rada ogleda se u sustavnom korištenju postojeće prometne i šumske infrastrukture, čime se smanjuje potreba za izgradnjom nove infrastrukture i povećava održivost predloženih rješenja.

Rezultati prikazani u sumarnoj Tablici 1 ukazuju na dominantne obrasce planiranja zelenih koridora, pri čemu se najveći broj koridora temelji na kombinaciji lokalnih i nerazvrstanih cesta te primarnih i sekundarnih šumskih prometnica. Takav pristup potvrđuje da šumarska struka, osobito u području urbanog i periurbanog šumarstva, ima značajan potencijal u planiranju i usmjeravanju nemotoriziranog kretanja kroz šumske i prijelazne krajobraze, uz očuvanje njihovih temeljnih ekoloških i gospodarskih funkcija.

Zeleni koridori u ovom radu nisu promatrani isključivo kao rekreacijske staze, već kao višefunkcionalni prostorni elementi koji istodobno doprinose:

- povezivanju naselja i povećanju dostupnosti javnog prostora,
- očuvanju i interpretaciji prirodne i kulturne baštine,
- razvoju održive mobilnosti pješaka i biciklista,
- racionalnom i neinvazivnom korištenju šumskih i poljoprivrednih površina.

Primjena jednostavnih parkovnih elemenata i uređaja, prilagođenih prostornom kontekstu, dodatno naglašava važnost umjerenog i funkcionalnog pristupa uređenju, pri čemu kvaliteta prostora proizlazi iz njegove prostorne povezanosti, čitljivosti i dostupnosti, a ne iz intenziteta zahvata.

Zaključno, rad potvrđuje da je planiranje zelenih koridora učinkovit alat za integraciju šumarstva, prostornog planiranja i parkovne arhitekture. Predloženi metodološki okvir i rezultati mogu poslužiti kao stručna podloga za daljnje planiranje sličnih mreža zelenih koridora u drugim dijelovima Hrvatske, ali i kao poticaj za snažnije uključivanje šumarskih stručnjaka u razvoj zelene infrastrukture na regionalnoj i lokalnoj razini.

LITERATURA

REFERENCES

- Ahern, J., 2002: Greenways as strategic landscape planning: theory and application. Wageningen University and Research.
- Ahern, J., 2013: Urban landscape sustainability and resilience: the promise and challenges of integrating ecology with urban planning and design. *Landscape Ecology* 28: 1203–1212. <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9799-z>
- Andlar, G., I. Hrdalo, 2018: Studija i strategija razvoja zelene infrastrukture grada Siska.
- Antrop, M., 2004: Landscape change and the urbanization process in Europe. *Landscape and Urban Planning* 67 (1–4): 9–26. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(03\)00026-4](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(03)00026-4)
- Benedict, M.A., E.T. McMahon, 2006: Green infrastructure: Linking landscapes and communities. Washington, DC: Island Press.
- Escobedo, F.J., T. Kroeger, J.E. Wagner, 2011: Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. *Environmental Pollution* 159 (8–9): 2078–2087. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.010>
- European Commission, 2013: Green Infrastructure (GI) — Enhancing Europe's Natural Capital. Brussels, Belgium.
- European Commission, 2020: EU biodiversity strategy for 2030: Bringing nature back into our lives. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, 13.
- Fabos, J.G., 2004: Greenway planning in the United States: Its origins and recent case studies. *Landscape and Urban Planning* 68 (2–3): 321–342. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.07.003>
- Forman, R.T.T., 2014: Urban ecology: Science of cities. Cambridge: Cambridge University Press.
- Forman, R.T.T., M. Godron, 1986: Landscape ecology. New York: John Wiley & Sons. Inc.
- Hansen, R., S. Pauleit, 2014: From multifunctionality to multiple ecosystem services? A conceptual framework for multifunctionality in green infrastructure planning for urban areas. *Ambio* 43 (4): 516–529. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0510-2>
- Hellmund, P.C., D. Smith, 2006: Designing greenways: Sustainable landscapes for nature and people. Washington, DC: Island Press.
- Ignatieva, M., G.H. Stewart, C. Meurk, 2011: Planning and design of ecological networks in urban areas. *Landscape and Ecological Engineering* 7 (1): 17–25. <https://doi.org/10.1007/s11355-010-0143-y>
- Konijnendijk, C.C., M. Annerstedt, A.B. Nielsen, S. Maruthaveeran, 2013: Benefits of urban parks. A systematic review. A Report for IFPRA. Copenhagen & Alnarp, 70.
- Landscape Institute, 2013: Green infrastructure: An integrated approach to land use. London.
- Makhzoumi, J., G. Pungetti, 2003: Ecological landscape design and planning. Taylor & Francis.
- Nilsson, K., M. Sangster, C.C. Konijnendijk, 2010: Forests, trees and human health and well-being: Introduction. In: Forests, trees and human health, pp. 1–19. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Sisačko-moslavačka županija, 2021: Strategija razvoja Sisačko-moslavačke županije 2021.–2027.
- Thwaites, K., I. Simkins, 2006: Experiential landscape: An approach to people, place and space. London: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203462096>
- Tzoulas, K., K. Korpela, S. Venn, V. Yli-Pelkonen, A. Kaźmierczak, J. Niemela, P. James, 2007: Promoting ecosystem and human health in urban areas using green infrastructure. *Landscape and Urban Planning* 81 (3): 167–178. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.02.001>
- World Health Organization, 2017: Urban green spaces: A brief for action. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.

Abstract

Green corridors are increasingly recognized as a key component of green infrastructure in spatial and landscape planning, particularly in the context of sustainable development, active mobility, and the functional integration of urban, rural, and natural areas. They are commonly defined as linear spatial elements that ensure the continuity of ecological, recreational, and social functions while simultaneously connecting settlements, natural habitats, and cultural landscapes. Within contemporary European planning frameworks, green corridors are promoted as multifunctional spatial tools that contribute to biodiversity conservation, climate adaptation, and improved quality of life for local communities.

This paper presents a methodological and applied framework for planning a network of green corridors, based on the integration of existing transport and forest infrastructure and the application of selected park design techniques. The research was conducted in a spatially heterogeneous region characterized by extensive forest complexes, river valleys, agricultural land, and dispersed settlements. Such spatial conditions create favorable prerequisites for the development of green corridors, but also pose challenges related to depopulation, limited mobility options, and fragmented planning approaches.

The main objective of the study was to analyze the possibilities of establishing a functional network of green corridors by using the existing infrastructure with minimal spatial intervention. Special emphasis was placed on the role of forestry expertise in spatial connectivity, landscape interpretation, and sustainable use of forest road networks. The specific objectives were to (i) identify and analyze the spatial characteristics of fifteen proposed green corridors, (ii) determine suitable trail profiles and park techniques in relation to different spatial contexts, (iii) present a synthetic overview of planning solutions through a comparative table, and (iv) discuss the contribution of forestry professionals to interdisciplinary green infrastructure planning.

The research methodology combined desk-based spatial analysis, field observations, and the synthesis of professional planning criteria. The existing road networks, including local, unclassified, and forest roads, were analyzed and classified according to their potential for pedestrian and cycling use. Forest infrastructure was interpreted not only as a production-oriented system but also as a valuable spatial resource for recreational and connective functions. Based on spatial context and functional requirements, four basic trail profile types (S-TIP 1–4) were defined (Figures 1–4) and applied across the analyzed corridors.

The results are presented through a comprehensive table (Table 1) that summarizes the key characteristics of all sixteen green corridors, including corridor designation, start and end points, categories of transport infrastructure, applied trail profiles, planned park techniques, dominant functions, and spatial contribution. The analysis demonstrates that most corridors rely on a combination of existing local roads and primary or secondary forest roads, confirming that functional green corridors can be established without extensive new infrastructure development (Figure 5). Trail profiles are clearly differentiated according to spatial context: urban and peri-urban areas predominantly require separated or traffic-calmed profiles, while rural and forested areas allow for more flexible and low-impact solutions.

Planned park techniques are intentionally modest and context-sensitive, focusing on rest areas, interpretative panels, viewpoints, and simple park elements. This approach emphasizes spatial connectivity and legibility over intensive park equipment, reinforcing the multifunctional nature of green corridors. The study also highlights the importance of forestry professionals in planning processes, particularly in integrating forest roads into green infrastructure networks in a way that preserves ecological, production, and social forest functions.

The discussion places the results within a broader interdisciplinary context, linking forestry, spatial planning, landscape architecture, and sustainable mobility. Green corridors are interpreted not merely as recreational trails, but as spatial structures that support active mobility, cultural and natural heritage interpretation, and balanced regional development. The proposed methodological framework demonstrates transferability and can be applied in other regions with similar spatial characteristics.

In conclusion, the paper confirms that green corridor planning based on the existing infrastructure and forestry expertise represents an effective and sustainable approach to spatial connectivity. The presented methodology and results provide a practical planning tool and a professional basis for further development of green infrastructure networks, while also supporting a stronger role of forestry professionals in interdisciplinary spatial planning and landscape management.

Keywords: green corridors, sustainable development, spatial connectivity, park techniques, spatial planning methodology

Starica iz Čorkove uvale – najstarija bukva (*Fagus sylvatica* L.) u Hrvatskoj

Domagoj Trlin¹, Nikola Magdić², Luka Prša¹, Marko Orešković¹

¹ Sveučilište u Zagrebu Fakultet šumarstva i drvne tehnologije

² Nacionalni park Plitvička jezera

Čorkova uvala najpoznatija je i najistraživanija prašuma u Hrvatskoj. Ova bukovo-jelova prašuma smještena je u sjeverozapadnom dijelu Nacionalnog parka Plitvička jezera i ima površinu 80,5 ha. Nalazi se na obroncima Male Kapele, na zapadnim padinama Javornika u rasponu nadmorskih visina od 860 do 1030 m. Čorkova uvala rijedak je primjer iskonske dinarske bukovo-jelove prašumske sastojine na području hrvatskih Dinarida. Naziv je dobila po istoimenom obližnjem naselju Čorkova Uvala. Godine 1965. proglašena je rezervatom šumske vegetacije rješenjem Zavoda za zaštitu prirode. Čovjek je zasigurno u prošlosti utjecao na prašumu, uzimajući pokoje pojedinačno stablo, što nije znatnije promijenilo njezinu prirodnu strukturu. To dokazuju i brojna istraživanja koja su dosad provedena u ovoj prašumi.

Zato ne čudi da je baš na području Čorkove uvale otkrivena najstarija bukva u Hrvatskoj, a prema dostupnim podacima i druga najstarija u Europi. Stablo je otkriveno slučajno jer se našlo na jednoj od pokusnih ploha prilikom istraživanja dinamike prašume Čorkova uvala.

PODACI IZMJERE

- visina stabla – 38,6 m
- prsni promjer stabla – 80,5 cm
- starost – 563 godine
- prosječni debljinski prirast – 1,28 mm



Najstarija bukva izgleda kao i svaka druga na ovom području. Tek pogled u krošnju otkriva deformiranost karakterističnu za jako stara stabla.



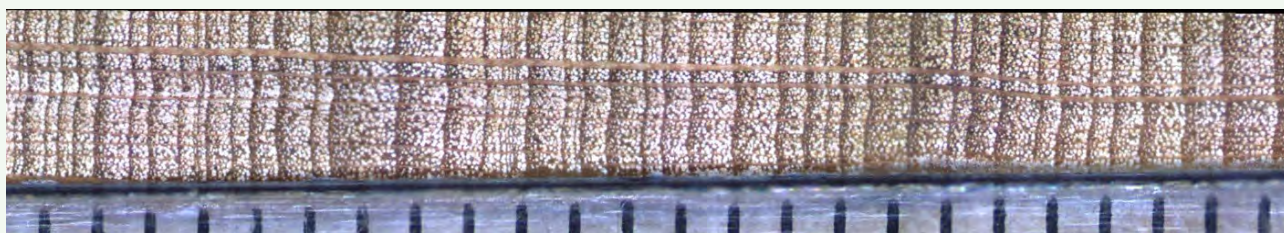
Starost i analiza debljinskog prirasta

Starost i prirast stabla utvrđeni su dendrokronološkim metodama. Izvrtak je izvađen iz stabla na visini od 0,5 m pomoću Presslerovog svrdla pričvršćenog na akumulatorsku bušilicu. Pripremljen je pomoću Core-Microtome uređaja te dodatno poliran finim brusnim papirom, a zatim skeniran pomoću sustava ATRICS. Očitavanje godova te konačna procjena starosti provedeni su koristeći program Coorecorder. Procjena starosti određena je tako što su na 538 očitanih godova nadodana još 22 goda koliko bi teoretski trebalo da se dođe do samog centra stabla koji nažalost nije zahvaćen prilikom uzorkovanja. Treba naglasiti da je uzorkovanje obavljeno 2022. godine pa stoga konačna procijenjena starost iznosi 563 godine.

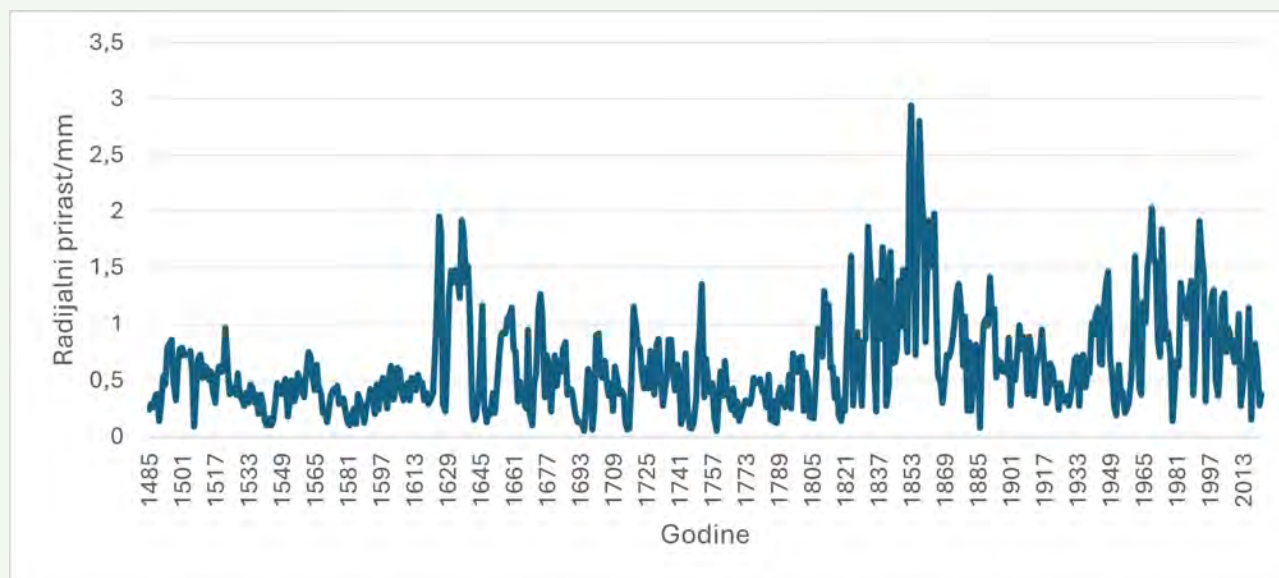
Debljinski prirast ovoga stabla iznosi od minimalno 0,1 do maksimalno 5,88 milimetara godišnje. Prosječni debljinski prirast je 1,28 milimetara godišnje, što znači da je prosječna širina goda (radijalni prirast) samo 0,64 milimetra. Trend radijalnog prirasta kroz proteklih pet i pol stoljeća prikazan je na priloženom grafikonu.



Dendrokronološkim metodama utvrđene su starost i prirast stabla. Za uzorkovanje je korišteno Presslerovo svrdlo pričvršćeno na akumulatorsku bušilicu.



Detalj izvrtka na milimetarskoj skali prikazuje 50 godova nastalih u razdoblju od 1717. do 1767. Smjer rasta godova je s desna na lijevo.



Trend radijalnog prirasta stabla tijekom posljednjih pet i pol stoljeća.

Dr. sc. Ivana Sirovica

Jasnica Medak

Hrvatski šumarski institut, Jastrebarsko

Dr. sc. Ivana Sirovica, mag. ing. silv., obranila je 26. kolovoza 2025. godine doktorski rad pod naslovom „Florističke i vegetacijske značajke Strogoga rezervata Bijele i Samarske stijene“, čime je stekla akademski stupanj doktora znanosti iz područja biotehničkih znanosti, znanstvenog polja šumarstvo, znanstvene grane ekologija i uzgajanje šuma. Obrana dokorskog rada održana je na Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu pred povjerenstvom u sastavu: prof. emer. dr. sc. Joso Vukelić (predsjednik), prof. dr. sc. Andraž Čarni (član) i dr. sc. Jasnica Medak (članica).

Životopis

Ivana Sirovica rođena je 31. prosinca 1992. godine u Zagrebu, gdje je pohađala osnovnu i srednju školu. Nakon završenog srednjoškolskog, dvojezičnog obrazovanja (*Bilingual programme*) u X. gimnaziji „Ivan Supek“, 2011. godine upisuje Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, smjer Urbanog šumarstva, zaštite prirode i okoliša. Prediplomski studij završava 2015. godine kad ujedno upisuje i diplomski studij Urbanog šumarstva, zaštite prirode i okoliša. Nakon završetka diplomskog studija, 2018. godine zapošljava se u okviru stručnog osposobljavanja na Hrvatskom šumarskom institutu, a od 2020. godine radi kao asistent na Zavodu za ekologiju šuma i upisuje doktorski studij. Tijekom stručnog osposobljavanja i za vrijeme trajanja dokorskog studija sudjeluje na sveukupno 13 istraživačkih projekata. Također, dio je tehničkog uredništva časopisa Radovi (Hrvatski šumarski institut). Kao autor i koautor objavljuje sveukupno pet radova, odnosno četiri u A1 i jedan u A3 kategoriji. Znanstveno usavršavanje u sveukupnom trajanju od tri mjeseca i u različitim periodima njegove realizacije provodi u Istraživačkom centru Slovenske akademije znanosti i umjetnosti (ZRC SAZU) u Ljubljani, kod prof. dr. Andraža Čarnija. Ondje usvaja nova znanja o primjeni suvremenih statističkih analiza, kao i pristup vegetacijskim istraživanjima koja primjenjuje u okviru vlastite disertacije. Također, znanstveno usavršavanje na temu pisanja znanstvenih radova povodi u sklopu ljetne škole EVOLTREE u Pokljuki (Slovenija), a sudjeluje i u COST akciji procjene raznolikosti biljnih vrsta u šumskim ekosustavima u Arezzu (Italija). Članica je Hrvatskog ekološkog društva, Hrvatskog botaničkog društva, Istočnoalpsko-dinarskog društva za istraživanje vegetacije (EADSVE), Međunarodnog društva za znanost u vegetaciji (*International Association for Vegetation Science* – IAVS) te visokogorske sekcije Planinarskog društva Zagreb-Matica.



Sažetak

Disertacija je obuhvatila florističko-vegetacijska istraživanja Strogog rezervata Bijele i Samarske stijene, područja koje predstavlja bogatstvo jedinstvenih geomorfoloških i vegetacijskih oblika zaštićenih na razini Europske unije (Natura 2000). Izrazita vrijednost za očuvanje navedenog područja, uz izostanak sustavnih vegetacijskih istraživanja, naglašava važnost utvrđivanja i opisivanja pojedinih fitocenoza te njihovog smještaja u europski kontekst. U skladu s time, ciljevi dokorskog rada uključivali su utvrđivanje šumskih fitocenoza na području strogog rezervata u sklopu komparativne analize flornog sastava i analize mikroklimatskih čimbenika relevantnih vegetacijskih tipova šireg dinarskog područja. Nadalje, ovim je istraživanjem izvršeno i povezivanje ekoloških uvjeta utvrđenih šumskih zajednica na temelju značajki pojedinih vrsta (životni oblici, florni geoelementi, CSR strategije). Također, istraživanje je uključivalo i analizu utjecaja mjerenih geomorfoloških parametara na razvoj pojedinih fitocenoza, kao i pedološke analize površinskog sloja tla. Utvrđivanje šumskih fitocenoza i njihovih značajki izvršeno je terenskim fitocenološkim snimanjem te analizom prikupljenih podataka različitim univarijantnim i multivarijantnim metodama. Sveukupno je prikupljeno 204 fito-

cenoloških snimaka iz različitih šumskih ekosustava te 71 uzorak tla. Uz vlastite podatke, u analizi je obrađeno sveukupno 6324 relevantnih fitocenoloških snimaka s područja Dinarida i šire ilirske flore provincije (Hrvatska, Slovenija, Bosna i Hercegovina), a dobiveni rezultati prikazani su dendrogramima, ordinacijskim te Box and whiskers dijagramima.

Rezultati florističke analize ukazuju na prisutnost sveukupno 245 vrsta vaskularne flore, od kojih 33 pripadaju strogo zaštićenoj kategoriji i/ili određenom stupnju ugroženosti, predstavljajući time prvi sustavni popis vaskularne flore čitavog zaštićenog područja. Također, istraživanjem je utvrđeno sveukupno sedam šumskih zajednica, odnosno šest asocijacija jelovih i smrekovih šuma, bukovih šuma te šuma plemenitih listača. Od navedenih šumskih vegetacijskih tipova, dvije zajednice su prvi put zabilježene u Hrvatskoj (*Ribeso alpini-Piceetum*, *Stellario montanae-Piceetum*), a tri su prvi put i definirane i opisane (*Melampyro velebitici-Abietetum*, *Melampyro velebitici-Fagetum* i *Ribeso alpini-Aceretum*). S druge strane, uslijed nedovoljnog broja fitocenoloških snimaka, točno utvrđivanje zajednice *Picea abies* comm. u okviru ovog istraživanja nije određeno zbog čega je njegov trenutačni naziv privremenog karaktera. Utvrđivanjem i opisivanjem šumskih vegetacijskih tipova na području strogog rezervata koji dosad nisu zabilježeni u Hrvatskoj potvrđena je prva hipoteza ovog istraživanja, s pretpostavkom utjecaja mikroklimatskih uvjeta, specifične geomorfologije te izostanka antropogenog djelovanja u prošlosti na njihovo specifično oblikovanje i dosadašnje očuvanje. U konačnici, analizom mjerenih geomorfoloških (nadmorska visina, nagib, ekspozicija, udio stjenovitosti) i

ekoloških čimbenika (svjetlost, temperatura, vlažnost tla, reakcija tla, hranjivost tla) potvrđena je druga hipoteza prema kojoj geomorfološke značajke najviše uvjetuju pojavnost utvrđenih šumskih fitocenoza, s naglaskom na nagib i stjenovitost.

Rezultati ovog istraživanja pružaju prvi potpuni prikaz šumskih fitocenoza na području Strogog rezervata Bijele i Samarske stijene, a provedena metodologija i dobiveni podaci, u kontekstu šireg dinarskog i ilirskog područja, doprinose poznavanju šumske vegetacije središnjih Dinarida. Nadalje, stvaranje jedinstvene kombinacije značajki s uvidom u funkcioniranje i dinamiku utvrđenih zajednica omogućuje njihovu primjenu i u budućim istraživanjima. Također, uz dostupne podatke o koordinatama lokaliteta ili zajednica pridolaska pojedinih biljnih vrsta, navedeno omogućuje razumijevanje njihove rasprostranjenosti i ekoloških zahtjeva. Utvrđivanjem šumskih zajednica na području strogog rezervata, kao i ekoloških čimbenika koji utječu na udruživanje pojedinih biljnih vrsta, dobiven je uvid u većim dijelom njihovo izvorno stanje, bez tragova antropogenog utjecaja. U konačnici, rezultati provedenog istraživanja mogu poslužiti neophodnoj uspostavi monitoringa te racionalnijem i uspješnijem upravljanju ovim prirodnim bogatstvom Republike Hrvatske.

Doktorski rad napisan je na 266 stranica, a uključuje 37 tablica, 77 slika, 467 navoda citirane literature te 24 priloga. Prilozi uključuju: Tumač ekoloških indikatorskih vrijednosti (Prilog 1), Popis korištenih fitocenoloških snimaka u klaster-skim analizama (Prilozi 2 – 17) te Analitičke tablice utvrđenih šumskih vegetacijskih tipova (Prilozi 18 – 24).



Utjecaj invazivnih stranih biljaka na upravljanje urbanim zelenim površinama

Okrugli stol u HAZU, rujan 2025.

Željko Škvorc¹, Damir Dramalija²

¹ Sveučilište u Zagrebu Fakultet šumarstva i drvene tehnologije

² Hrvatsko šumarsko društvo, Sekcija za urbano šumarstvo



U knjižnici Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti u Zagrebu 19. rujna 2025. godine, pred više od 80 sudionika, održan je okrugli stol pod nazivom Utjecaj invazivnih stranih biljaka na upravljanje urbanim zelenim površinama. Okrugli stol su zajednički organizirali Znanstveno vijeće za zaštitu prirode i okoliša, Znanstveno vijeće za poljoprivredu i šumarstvo HAZU te Sekcija za urbano šumarstvo Hrvatskog šumarskog društva.

Prenošenje biljnih vrsta na nova staništa gdje ne rastu od prirode događa se od samih početaka ljudske civilizacije jer su ljudi već u prvim poljoprivrednim zajednicama prilikom seoba nosili sjeme i sadnice mnogih vrsta. Tako su mnoge strane vrste s vremenom postale sastavni dio našeg krajobraza, ali i kulturnog nasljeđa (npr. obični čempres, bagrem, lavanda i mnoge druge). Međutim, razvoj tehnologije te sve intenzivnije kretanje ljudi i materijalnih dobara zadnjih desetljeća naglo su povećali mogućnost prenošenja stranih vrsta na velike udaljenosti. Pri tome se sve češće događa da neke od tih vrsta postaju invazivne te se počinju nekontrolirano širiti, pri čemu ugrožavaju domaću floru i remete

stabilnost ekosustava. Urbana područja zbog visokog stupnja poremećaja staništa, intenzivnog prometa i protoka ljudi te velike heterogenosti staništa imaju ključnu ulogu u širenju invazivnih vrsta. Osim toga, mnoge invazivne vrste uzrokuju brojne probleme u urbanim sredinama kao što su alergijske reakcije, oštećenja građevina i infrastrukture, povećani troškovi održavanja zelenila i sl. Jedna od karakteristika urbanog zelenila je velik broj dionika koji sudjeluju u upravljanju tim prostorom, kao i velik broj raznovrsnih korisnika. Zbog svega postoje brojni izazovi u upravljanju tim prostorima koji su na ovom okruglom stolu analizirani iz različitih aspekata. U uvodnom dijelu održano je šest izlaganja koja su održali znanstvenici te stručnjaci koji se bave invazivnim vrstama iz znanstvene zajednice, javne i državne uprave kao i poduzeća koje se u praksi bave upravljanjem urbanim zelenim površinama.

Okrugli stol je u ime Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti i Hrvatskog šumarskog društva otvorio **akademik Igor Anić**. Prvo izlaganje imala je **prof. dr. sc. Božena Mitić** s Botaničkog zavoda Prirodoslovno-matematičkog fakulteta



u Zagrebu koja je govorila o načinima i putevima unošenja stranih vrsta biljaka, njihovom utjecaju na prirodne i urbane ekosustave, život i zdravlje ljudi te na gospodarstvo. Osim toga prezentirala je aktualna istraživanja invazivnih biljaka u Hrvatskoj kao i najznačajnije zeljaste strane invazivne vrste.

Drugo izlaganje održala je **prof. dr. sc. Marilena Idžojić** s Fakulteta šumarstva i drvene tehnologije u Zagrebu koja je govorila o morfološkim i biološkim svojstvima te ekološkim zahtjevima najznačajnijih drvenastih invazivnih stranih vrsta u Hrvatskoj, s posebnim naglaskom na stanje na urbanim zelenim površinama.

Sljedeće izlaganje održala je **Una Mršić**, voditeljica Službe za očuvanje i upravljanje vrstama iz Uprave za zaštitu prirode Ministarstva zaštite okoliša i zelene tranzicije Republike Hrvatske. Ona je dala pregled europskog i nacionalnog zakonodavnog okvira koji regulira upravljanje stranim i invazivnim stranim vrstama. Također je prikazala mehanizme upravljanja, od prevencije unosa i ranog otkrivanja do kontrole i eradikacije već uspostavljenih populacija, te dosadašnje aktivnosti provedene u Hrvatskoj.

Četvrto izlaganje održala je **dr. sc. Valentina Borak Martan**, voditeljica Odjela za strane vrste u Zavodu za zaštitu okoliša i prirode Ministarstva zaštite okoliša i zelene tranzicije Republike Hrvatske. Ona je predstavila projekt „LIFE CONTRA *Ailanthus* – Uspostava kontrole invazivne strane vrste *Ailanthus altissima* (pajasen) u Hrvatskoj” kojeg provodi Zavod za zaštitu okoliša i prirode zajedno s partnerima u četiri Natura 2000 područja u mediteranskoj regiji (NP Krka i Pelješac) te u gradovima s povijesnom jezgrom (Dubrovnik, Ston i Mali Ston). Predstavljani su rezultati postignuti različitim

metodama uklanjanja pajasena (mehanička, mehaničko-kemijska i alternativna metoda) te najveći izazovi prilikom rada.

Peto izlaganje održali su **dr. sc. Biljana Janev Hutinec** i **Saša Banić** iz Javne ustanove za upravljanje prirodnim vrijednostima Grada Zagreba – Priroda Grada Zagreba. Oni su predstavili svoja iskustva u monitoringu, procjeni invazivnosti i primjeni različitih metoda uklanjanja invazivnih stranih vrsta na području park šume Maksimir i drugih zaštićenih dijelova prirode grada Zagreba.

Zadnje izlaganje održala je **mr. sc. Tatjana Mandić Bulić**, rukovoditeljica Hortikulture u poduzeću Pula Herculanea d.o.o. iz Pule koja je prezentirala najčešće invazivne vrste na zelenim površinama grada Pule te probleme na koje stručnjaci nailaze prilikom kontrole njihova širenja. Prezentirana su i iskustva u kemijskom suzbijanju pajasena na području grada Pule.

Nakon uvodnih izlaganja održana je vrlo sadržajna rasprava u kojoj su problematizirane učinkovitost i svrsishodnost različitih metoda uklanjanja invazivnih stranih vrsta, pri čemu treba uvažavati iskustva stručnjaka iz različitih područja. Istaknuta je i potreba evaluacije invazivnosti pojedinih stranih vrsta biljaka te ujednačavanja njihova statusa u različitim popisima i evidencijama. Sudionici su se složili o tome da je veliki problem učinkovita kontrola širenja invazivnih stranih vrsta na površinama u privatnom vlasništvu. Često su velika sredstva i trud djelatnika javnih ustanova i komunalnih poduzeća koja se utroše na kontrolu i uklanjanje invazivnih stranih vrsta potrošeni uzalud jer privatne površine ostaju jezgre ponovnog širenja istih. U

tom smislu potrebno je korigirati zakonodavni okvir koji će učinkovitije sankcionirati vlasnike te omogućiti nadležnim službama održavanje i tih površina. Iako državne institucije ulažu veliki trud u uspostavljanje učinkovitog okvira za kontrolu prometa stranim vrstama biljaka istaknuta je potreba strože kontrole slučajnog unosa korovnih i sličnih vrsta. Kroz cijelu raspravu isticana je potreba suradnje različitih institucija koje upravljaju istim zelenim površinama, što jedino može osigurati učinkovito upravljanje koje će smanjiti negativan utjecaj stranih invazivnih vrsta na biološku raznolikost urbanih ekosustava te zdravlje i život čovjeka. Pri tome treba uvažavati i dosljedno provoditi mjere koje propisuje struka (npr. redovita košnja i sl.). Isto tako, preporučuje se da bi prilikom obnove i sadnje urbanih zelenih površina (drvoreda, parkova, igrališta, urbanih šuma i dr.) stabla stranih invazivnih vrsta trebalo zamijeniti prikladnijim i dendrološki vrijednim vrstama, po mogućnosti autohtonim. Tom mjerom dugoročno se očekuje pad broja izvora širenja drvenastih invazivnih vrsta kako na gradskim, tako i na privatnim površinama te smanjenje njihovog utjecaja na prirodna staništa u okolici u prihvatljive okvire. Kao dio općeg zaključka, istaknuta je činjenica da poticaj širenju stranih invazivnih vrsta daju i trenutne klimatske promjene koje te vrste uglavnom dobro podnose. Procjenjuje se da će taj problem biti sve izraženiji u budućnosti jer brojne autohtone vrste nemaju mogućnost brze prilagodbe te su zbog smanjenja vitalnosti ugrožene različitim bolestima ili štetnicima koji također šire svoj areal ili lakše ulaze u gradacije čime im se povećava brojnost i postaju štetniji. Također, naglašena je važnost edukacije budući da je za uspješnu i učinkovitu borbu protiv stranih invazivnih vrsta neophodno razumijevanje i sudjelovanje svih zainteresiranih sektora

ili dionika na nekom području. Stoga je prioritet razvijati svijest o negativnim utjecajima nekontroliranog širenja invazivnih vrsta jer će uvijek postojati problem neinformiranosti ili nezainteresiranosti vlasnika takvih površina o zbrinjavanju istih. Nadalje, cilj edukacije je spoznaja o nužnosti poduzimanja svih raspoloživih preventivnih mjera za sprječavanje unosa i širenja invazivnih vrsta, zatim aktivnosti na smanjivanju broja i veličine površina na kojima su se već pojavile i raširile invazivne vrste, što bi u konačnici trebalo rezultirati njihovim potpunim uklanjanjem i povratkom autohtone vegetacije. Nažalost, sve to iziskuje značajne ljudske i materijalne resurse koje često nemamo na raspolaganju te se iz tog razloga stavljanje pod kontrolu i zaustavljanje širenja invazivnih vrsta može smatrati velikim uspjehom u borbi protiv njih.

Na kraju su organizatori okruglog stola izrazili zahvalnost predavačima koji su pripremili prezentacije i svim ostalim prisutnima bez čijeg sudjelovanja ovaj skup ne bi uspio. Velik odaziv naših znanstvenika i stručnjaka iz različitih područja, ali i najšire javnosti, potvrđuje da je naslovna tema ovog događaja dobro odabrana i da je u skladu s aktualnim trenutkom u kojem cijeli svijet ulaže znatne napore u borbi protiv stranih invazivnih vrsta. Ohrabrujuće je da i u Hrvatskoj postoji rastuća svijest da su invazivne strane vrste ozbiljna prijetnja i da njihovo nekontrolirano širenje štetno utječe na bioraznolikost te na mnoge aspekte naših života. Zaključci i preporuke izneseni na ovom okruglom stolu potvrđuju činjenicu da je komunikacija, odnosno razmjena znanja i praktičnih iskustava, ključ za dobra rješenja, osobito kada je uključeno više dionika kao što je ovdje bio slučaj (biolozi, agronomi, šumari, komunalci, zaštitari prirode, građani...) te da s takvom praksom treba nastaviti.



Park-šuma Čikat – prirodno blago Lošinja

izlaganje na Sedmom hrvatskom znanstveno-stručnom skupu
o urbanom šumarstvu, Vinkovci 2025.

Christian Gallo

Hrvatske šume d. o. o., UŠP Buzet

Zbog svojih dvojnih svojstava, onih šume i parka, park-šume predstavljaju vrlo primamljive površine za boravak, često vrlo zanimljive povijesti nastanka koja je uglavnom u visokoj korelaciji s razvojem turizma. Jedan od reprezentativnih primjera je park-šuma Čikat na otoku Lošinju. U ožujku 2025. Grad Mali Lošinj svečano je obilježio 140. godišnjicu turizma. Jedna od glavnih tema svečanog obilježavanja bila je park-šuma Čikat, odnosno područje Čikata koje je u razvoju lošinjskog turizma odigralo bitnu ulogu. U sklopu proslave organizirana je panel rasprava naslova *Park-šuma Čikat – prirodno blago Lošinja: Izazovi upravljanja i vizije za budućnost*. U panel raspravi sudjelovali su Grad Mali Lošinj, Turistička zajednica Grada Malog Lošinja, turistička tvrtka Jadranka, JU Priroda i Hrvatske šume UŠP Buzet.

Samo godinu dana nakon dolaska prvih turista (prvim turistima smatraju se 1885. dr. Conrad Clar i njegov sin koji se

došao oporaviti nakon teške bolesti) na poticaj dr. Schrötera koji je vršio razna istraživanja na otoku, osnovano je Turističko društvo, nakon čega je ubrzo osnovano i Društvo za poljepšavanje i pošumljavanje Malog Lošinja. Potonje Društvo narednih je godina bilo vrlo aktivno u pošumljavanju Čikata te su brojke zasađenih sadnica navodno ubrzo dosegle nekoliko stotina tisuća. Time je počelo uspješno oblačenje golog krša u zelenu boju. Najveća zasluga za službeno proglašavanje Lošinja 1892. klimatskim lječilištem, a posljedično i turističkim središtem, pripada Ambrozu Haračiću koji je svoj cijeli život posvetio proučavanju klime i vegetacije Lošinja.

Park-šuma Čikat proglašena je više od stoljeća nakon svog početka, 25. studenog 1992., na površini od, kako stoji u Odluci skupštine općine Cres – Lošinj, cca 226 ha. Alepski bor, vrsta koja je korištena u pošumljavanju, nije autohtona



Pomlađena površina i preostala stara stabla alepskog bora na mjestu većeg broja vjetroizvala

vrsta na Lošinju, no zbog svojih pionirskih svojstava predstavljala je najpogodniju vrstu za pošumljavanje kamenjara. Pionirska su svojstva omogućila alepskom boru naknadno spontano širenje i osvajanje novih površina. Isto je uočljivo na zračnoj snimci iz 1968. godine, na kojoj sjeverni dio današnje gusto obrasle park-šume čine pašnjačke površine. Rezultat sadnje i spontanog širenja alepskog bora danas su raznodobne kulture alepskog bora, kako i stoji u važećem Programu zaštite, njege i obnove šuma za gospodarsku jedinicu Park-šume Lošinja (2023. – 2032.) koja obuhvaća malo više od polovice površine park-šume, 120 hektara u vlasništvu Republike Hrvatske kojima gospodari trgovačko društvo Hrvatske šume, UŠP Buzet, Šumarija Cres – Lošinj. Za ovo područje trenutačno nema važećeg programa za gospodarenje šumama privatnih šumoposjednika. Svih šest odsjeka u prvom i pet odsjeka u drugom odjelu, na koje je podijeljena površina park-šume kojom gospodari javni šumoposjednik, čine uređajni razred šuma posebne namjene, sekundarne namjene zaštite zemljišta, raznodobne kulture alepskog bora. Važno za napomenuti je da se u šest odsjeka u drvnjoj zalihi uz alepski bor pojavljuje i hrast crnika i/ili ostala tvrda bjelogorica. Ni u jednom odsjeku nije propisan etat, a od ostalih propisanih radova samo je u dva odsjeka propisano protupožarno čišćenje sastojina.

S obzirom na visoku dob alepskog bora u pojedinim dijelovima park-šume, postavlja se pitanje kako na gospodarenje utječe činjenica da nema propisanih sječa u svrhu pomlađivanja, odnosno stvaranja/širenja pomladnih jezgara. Može se zaključiti da Program zaštite, njege i obnove šuma ne dozvoljava obnovu šuma.

Kako je područje park-šume bilo i ranije obuhvaćeno programima gospodarenja (i prije proglašenja 1992.), zanimljivo je proučiti je li desetljećima ranije bilo propisanih sječa. U Šumsko-privrednoj osnovi gospodarske jedinice Čikat važenja od 1963. do 1972. bila je propisana sječa. Zanimljiv je kratak i jasan tekstualni dio *„gdje god su nastale progale bilo utjecajem čovjeka bilo prirodnim putem, nalazimo pomlađene grupe vitalne, ali često preguste. Iz toga izvlačimo zaključak: Bor kao heliofitna vrsta uspješno se obnavlja u grupimičnoj i skupinastoj strukturi, te to u budućnosti treba da bude akcenat smjernica budućeg gospodarenja“*. U sljedećim programima, važenja od 1978. do 1987. i od 1993. do 2002. nema propisanih sječa, dok se u programu važenja od 2003. do 2012. propisuje sječa za drugo polurazdoblje, no ona potom nije propisana u sljedećem programu važenja od 2013. do 2022. U tom programu u kontekstu sječa zanimljivi su izdani uvjeti zaštite Ministarstva zaštite okoliša i prirode 2012. i 2014. Naime, u uvjetima zaštite prirode koje je u listopadu 2012. izdalo Ministarstvo zaštite okoliša i prirode između ostalog stoji da *„u smjernicama gospodarenja za park-šumu potrebno je propisati samo nužnu doznaku i sječu stabala radi održavanja, uz uklanjanje suhih grana sa dubećih stabala koja izravno mogu ugroziti posjetitelje i materijalnu imovinu te po potrebi propisati radove njege i obnove na*

malim površinama“. Postupak donošenja predmetnog programa bio je prekinut te u nastavku postupka, dvije godine kasnije, odnosno 2014., Ministarstvo zaštite okoliša i prirode ponovo izdaje uvjete zaštite prirode u kojima se više ne spominje obnova na malim površinama. U sljedećem, trenutačno važećem i već spomenutom Programu zaštite, njege i obnove šuma za gospodarsku jedinicu „Park-šume Lošinja“ važenja od 2023. do 2032. također nema propisanih sječa, barem ne onih u svrhu obnove. Naime, Rješenjem Ministarstva zaštite okoliša i zelene tranzicije dopušteno je uklanjanje trulih, nestabilnih, bolesnih, oštećenih, jako nadvijenih stabala ili dijelova stabala.

Ostaje nejasno zašto uvjeti zaštite brane obnovu na malim površinama. Naglasak je pritom na malim površinama. Kako su svi odsjeci Park-šume Čikat opisani kao raznodobne sastojine, obnova se može propisati i na dijelu površine odsjeka. Na mjestima pojedinačnih ili skupnih vjetroizvala kao posljedica nevremena (primjerice, krajnji sjever park-šume) sastojina se prirodno/spontano pomlađuje. To su pomladne jezgre koje bi trebalo širiti, odnosno uklanjati pojedinačne preostale stare alepske borove. Isto tako se na pojedinim mjestima podstojno razvila autohtona vegetacija zajednice hrasta crnike čiji razvoj ovisi o količini svjetlosti, odnosno gustoći stabala/krošanja alepskih borova. Sukladno tomu, i



Pomlađena površina i preostala stara stabla alepskog bora na mjestu većeg broja vjetroizvala



Razvijena autohtona vegetacija pod krošnjama alepskog bora

ove bi pomladne jezgre trebalo širiti. Bilo bi to najbolje što bi se moglo učiniti za biološku raznolikost, stabilnost i otpornost sastojina park-šume.

Sada već davne 1990. godine profesori Matić, Prpić i Rauš u znanstvenom članku „Model za njegu i obnovu park šume Čikat na Lošinju” također pišu o obnovi na malim površinama, odnosno krugovima. Tada zasigurno nisu slutili da će birokracija uskratiti obnovu.

U Zakonu o zaštiti prirode za park-šume stoji definicija da su to prirodne ili sađene šume, veće bioraznolikosti i/ili krajobrazne vrijednosti, koje su namijenjene odmoru i rekreaciji te da su u park-šumi dopušteni zahvati i djelatnosti koje ne narušavaju obilježja zbog kojih je proglašena park-šumom. Zahvat koji pomlađuje i osnažuje sastojine te im povećava biološku raznolikost ne može narušiti obilježja zbog kojih je park-šuma proglašena.

Obnova šuma podrazumijeva sječu na koju javnost uglavnom ne gleda blagonaklono. No, u ovom slučaju taj problem izostaje, jer je više puta, čak i iz nešumarskih krugova, odaslan jasan stav o „*potrebi sječa jer je šuma stara*”. Isto je rečeno u više navrata i na prije spomenutoj panel raspravi. U jednom dopisu lošinjskog gospodarskog subjekta stoji da „*stabla stara više od stotinu godina propadaju, mnogima istječe rok trajanja, šuma je debelo nagrižena, a novog pošumljavanja nema*”.

Dakle, prisutno je opće suglasje o potrebi obnove i pomlađivanja borovih sastojina park-šume. Usprkos tomu, birokracija ostaje čvrsta poput neosvojivog bastiona. Barem dvije sile zasigurno su jače od birokracije i od starih alepskih borova – nevremena koja su sve češća i potkornjak koji je skriveno prisutan u park-šumi i vreba prvu priliku pokazati svoju moć. Niti jedno od tih dvaju zala ne želimo na Čikatu. Ono što želimo je mješovita, pomlađena i fiziološki vitalna park-šuma.



(Pre)zrele sastojine alepskog bora



Zeleni plašt park-šume čini vizualni identitet Malog Lošinja

O šumi, od šume!

Povijesni hod kroz šume i šumarstvo čazmanskog kraja

Mandica Dasović

Hrvatsko šumarsko društvo

Izložba **O šumi, od šume! Povijesni hod kroz šume i šumarstvo čazmanskog kraja** mogla se pogledati u Centru za kulturu Čazma/Gradski muzej Čazma od 26. lipnja do 10. listopada 2025. Na zanimljiv i poučan način prikazana je bogata povijest odnosa čovjeka i šume na čazmanskom području. Autorica izložbenog postava i vrijednog kataloga je Marina Junger Sokolović. Šuma nije prikazana samo kao prirodni resurs, nego kao važan čimbenik koji je stoljećima oblikovao život stanovnika čazmanskog kraja, gospodarstvo i identitet lokalne zajednice. Ona nije samo prirodni prostor nego važan dio kulturne i povijesne baštine, upravo onako kako i stoji u katalogu: „Šuma je tiha svjedokinja povijesti“.

Izložba je bila postavljena u dvije cjeline. U prvoj cjelini pod nazivom **O šumi** prikazan je povijesni razvoj šumarstva i gospodarenja šumama čazmanskog područja, a u drugoj pod nazivom **Od šume** prikazani su predmeti izrađeni od drveta kao i alati koji su služili za obradu drveta.

Ukupno je bilo izloženo 89 predmeta koji su raspoređeni po sljedećim grupama: oruđe i oprema, komunikacija i simboli, dokumenti, fotografije, značke, kao i još neki pojedinačni predmeti.

Povijesni prikaz šumarstva čazmanskog kraja

Prikazana povijest šumarstva čazmanskog kraja kroz arhivske dokumente seže još u srednji vijek, kada su šume bile pod upravom crkvenih i feudalnih vlasti. Čitav prostor nalazio se u vlasništvu zagrebačkih biskupa koji su uređivali odnose na svom posjedu. O svim pitanjima u biskupovim šumama/gajevima bio je nadležan sam biskup, dok su se o općinskim šumama brinuli „svjetovni upravitelji“. Biskupi svojim statutima uređuju pitanje gospodarenja šumama te je vidljivo kako su šume tada bile strogo regulirane jer su predstavljale izvor drva za gradnju, ogrjev, materijal za izradu predmeta u kućanstvu, ali i prostor za ispašu i lov. Posebno su zanimljivi povijesni dokumenti koji svjedoče o ranim pravilima korištenja šuma, čime se nastojalo spriječiti njihovo nekontrolirano uništavanje.

Burna povijesna razdoblja snažno su obilježila šumarstvo čazmanskog kraja. Jedno takvo razdoblje je prodor osmanlijske vojske od 15. do 16. stoljeća. U to vrijeme šume nisu bile planski gospodarski iskorištavane, već je njihovo korištenje bilo neorganizirano i prilagođeno trenutnim potrebama. S jedne strane bile su izvor osnovnih sirovina za lokalno stanovništvo, a s druge strane su služile za vojne potrebe. Predstavljale su prirodnu zaštitu i zaklon u nesigurnim vremenima, ali i prepreku neprijateljskim vojskama. U to vrijeme dolazi do depopulacije tog područja i nekad obrađeno zemljište zarasta u šikaru.



Važno razdoblje u razvoju šumarstva na tim prostorima bilo je vrijeme Vojne krajine u čiji sastav Čazma ulazi 1606. godine unutar Varaždinskog generalata pod zapovjedništvom Križevačke natkapetanije. Drvo je u to vrijeme bilo ključni vojni materijal jer se koristilo za gradnju utvrda, stražarnica, mostova i vojnih objekata, ali i kao ogrjev za vojsku. Šume postaju strateški resurs države, nužan za obranu i funkcioniranje vojnog sustava. Vojne vlasti darivale su krajišnicima zemlju u zamjenu za vojnu službu, ali posljedica dolaska velikog broja doseljenika bilo je prekomjerno krčenje šume i nepoštivanje *Tripartituma*, najstarijeg zakonskog akta u Habsburškoj Monarhiji iz 1514. godine koji sadrži propise o korištenju i čuvanju šume. U tom razdoblju javljaju se prvi oblici planskog gospodarenja šumama, određuje se količina drva koja se smije posjeći, o čemu se vodi i evidencija, ali se velika pažnja posvećuje i obnovi šumskih površina. Krajišnici su imali pravo koristiti šumu, ali su isto tako bili obvezni poštivati propise i sudjelovati u njezinu očuvanju. Reformom Vojne krajine iz 1746. godine carica Marija Terezija nadzor nad šumama povjerava zapovjednicima pukovnija. Nadzor nad šumama čazmanskog kraja ima križevačka pukovnija. Brigu o zaštiti i čuvanju šuma vodili su lugari kojima je bilo zabranjeno trgovati drvom, a svoju službu trebali su obavljati pokorno, vjerno i

pošteno. U svrhu očuvanja šuma uvode se sljedeća pravila: sječa se dozvoljava od studenog do kraja veljače, zabranjuje se oštećivanje stabala, loženje vatre u šumi i u njoj blizini, a stabla se ne smiju sjeći bez doznake. Krajišnici imaju pravo na besplatno drvo za vlastite potrebe te im je dozvoljeno pašarenje i žirenje. Za nezakonita djela propisane su visoke kazne, a svaki vojno sposobni muškarac je uz kuću morao posaditi 50 vrbovih grana u svrhu proizvodnje ogrjevnog drveta.

Prvi propisi koji se tiču šumarstva na području ovog dijela Hrvatske sežu u sredinu 18. stoljeća kada je 22. 12. 1769. Marija Terezija izdala prvi šumarski zakon na hrvatskom jeziku pod nazivom Šumski red. Car Josip II. 1787. godine donosi novi Šumski red po kojem je nadzor nad svim šumama u Vojnoj krajini vodio bečki *Hofkriegsrath*, a u Hrvatskoj vrhovnu upravu nad šumama preuzimaju dva ravnateljstva šuma, i to jedno za Karlovačku i drugo za Križevačku krajinu pod koju pripada i čazmanski kraj. Šume se dijele na lugarije i po prvi put se u sve krajiške šume uvodi šumarska služba. Da bi netko postao šumar morao je znati čitati, pisati, računati, poznavati njemački jezik i jezik krajiške pukovnije u kojoj je radio, a prije stupanja na dužnost šumar je polagao zakletvu vjernosti pred zapovjednikom i sudcem pukovnije. Za samoobranu mogao je nositi pušku i sablju.

Zakonom o šumama Franje Josipa I. iz 1852. godine krajiške šume se dijele na državne ili erarske, općinske i privatne, a gospodarenje njima pripadalo je u nadležnost krajiških pukovnija. Gospodarilo se po odredbama gospodarske osnove koju je sastavljao šumarski ured pukovnije uz odobrenje komande pukovnije. Šumama su upravljali šumarski

stručnjaci koji su većinom bili stranci školovani u Češkoj, Mađarskoj i Austriji.

Do razvojačenja Vojne krajine dolazi 1871. godine, a zakonom donesenim 8. lipnja iste godine iz postojećih carskih šuma izdvaja se jedna polovina šuma po vrijednosti na području svake krajiške pukovnije i predaje se pravoužitnicima, odnosno krajišnicima za podmirenje njihovih potreba. To su bile šume imovnih općina, dok su erarske šume bile one koje su ostale u vlasništvu države. Šume na području bivše Križevačke i Đurđevačke pukovnije razdijeljene su diobenom odlukom Cesarsko-kraljevskoga središnjeg povjerenstva 1874. godine. Upravljanje šumama erara od šumsko-upravnog ureda sa sjedištem u Bjelovaru preuzima Kraljevsko šumsko ravnateljstvo sa sjedištem u Zagrebu, dok šumama imovnih općina upravlja Gospodarstveni ili šumarski ured sa sjedištem u Bjelovaru. Treći oblik vlasništva bile su šume zemljišnih zajednica, nastale segregacijom iz vlastelinskih šuma i pašnjaka, krajiških zemljišnih zajednica ili zemljišnih zajednica koje su postojale prije razrješenja feudalnih odnosa. Te su šume bile u vrlo lošem stanju, a njima su gospodarili kotarski šumari zaposleni kod županijske uprave. Do ukidanja imovnih općina dolazi početkom Drugog svjetskog rata, a šume imovnih općina kao i šume zemljišnih zajednica ulaze u sastav državnih šuma.

Od Drugog svjetskog rata do danas bilo je puno reorganizacija poduzeća koja su gospodarile šumama. Danas šumama i šumskim zemljištem u Republici Hrvatskoj gospodari jedinstveno poduzeće Hrvatske šume d.o.o. Šumskim područjem čazmanskog kraja gospodari Uprava šuma Podružnica Bjelovar.



Šumarije čazmanskog kraja

Nakon razvojačenja Vojne krajine 1871. godine nastaju Kraljevska šumska uprava u Dragancu te šumske uprave u Čazmi i Ivanskoj. Državna šumarija u Dragancu spominje se 1885. godine i nalazi se na popisu kraljevskih šumarija podređenih Kraljevskom šumarskom ravnateljstvu u Zagrebu. Šumarija u Ivanskoj spominje se u kontekstu kraljevskih šumarija, ali i šumarija imovnih općina, što znači da je dio šuma toga kraja pripadao eraru, a dio imovnoj općini. Najstariji zapis o organiziranoj upravi nad šumama u Ivanskoj datira iz 1885. godine. Šumarija u Čazmi nastala je kao šumarija križevačke imovne općine. Šumarije su vjerojatno postojale i prije, ali je

malo podataka iz ranijih godina. Iako šumarija u Dragancu više ne postoji, ona je u prošlosti imala veliki značaj u upravljanju i gospodarenju državnim šumama čazmanskog kraja. Izložba prikazuje kako su se kroz povijest stvarali i oblikovali temelji modernog šumarstva u kojem je osnovno načelo potrajno gospodarenje. Izloženi predmeti i zapisi koji su se mogli vidjeti svjedoče o svakodnevnom radu šumara i njihovoj ulozi u očuvanju šuma koje imamo danas, kao i povezanosti stanovništva čazmanskog kraja sa šumom koja ih stoljećima okružuje. Ideja o postavljanju ove izložbe, kao i velik trud autorice i svih suradnika u njenoj realizaciji, zaslužuje iznimnu pohvalu.

Naziv predmeta: Zgrada Šumarije u Gornjem

Dragancu

Grupa predmeta: Dokument

Materijal: Foto-papir

Tehnika: Tisak

Dimenzije: 13 x 17,7 cm

Vrijeme izrade: Oko 1970. godine

Opis: Crno-bijela fotografija zgrade šumarije u Dragancu, fotografirana s bočne strane. Kuća s tavanom, iznad ulaza nadstrešnica. Ispred dvorišta zgrade može se vidjeti drvena ograda te dvije klupe s bočne strane zgrade.



Naziv predmeta: Kolobroj

Grupa predmeta: Oruđe i oprema

Materijal: Drvo, željezo, mesing

Tehnika: Tokarenje, lijevanje, kovanje

Dimenzije: Metalni krug: promjer= 12 cm;

drška: dužina= 31 cm

Vrijeme izrade: Kraj 19. stoljeća

Opis: Kolobroj za označavanje drveća. Metalni dio od dva pokretna kruga na kojima su reljefno izljeveni brojevi od 0 do 9 te se pokretanjem krugova mogu otisnuti brojevi od 00 do 99. Na donjem dijelu je natpis, izrađen je u Freibergu, a dizajnirao ga je W. Gohler.



56. EFNS u talijanskoj regiji Furlanija-Juljska krajina

Oliver Vlainić

Hrvatsko šumarsko društvo



Hrvatska ekipa na svečanom otvorenju 56. EFNS-a

Europsko šumarsko natjecanje u nordijskom skijanju (EFNS) u svom 56. izdanju održano je od 18. do 24. siječnja 2026. Organizator i domaćin natjecanja, kao i druženja europskih šumara, bila je sjeveroistočna autonomna talijanska pokrajina Furlanija-Juljska krajina (Friuli-Venezia Giulia) smještena između Alpa i Jadranskog mora. Središte događanja bilo je mjesto Forni Avoltri s obližnjim Međunarodnim biatlonskim centrom Carnia Arenom u Piani di Luzza. Većina sudionika bila je smještena u selu Bella Italia nedaleko biatlonskog centra.

Svečano otvorenje održano je u ponedjeljak 19. siječnja u središtu mjesta Forni Avoltri. U svečanom defileu sudjelovalo je 17 država s 800 sudionika raspoređenih u 30 ekipa (Austrija 3 ekipe, Belgija, Bosna i Hercegovina, Češka, Finska, Francuska, Hrvatska, Italija – 3 ekipe, Latvija, Mađarska, Norveška, Njemačka – 10 ekipa, Poljska, Slovačka, Slovenija, Švedska i Švicarska).

Domaćini su ove godine ponešto izmijenili uobičajeni raspored događanja. Tako su ekskurzije umjesto ponedjeljkom i utorkom održane ponedjeljkom i četvrtkom. Utorak i srijeda bili su rezervirani za pojedinačna biatlonska natjecanja (skijaško trčanje i streljaštvo), a petak za štafetno natjecanje. Prvo su nastupili natjecatelji u skijaškom trčanju slobod-

nom tehnikom (577 natjecatelja), a sljedeći dan natjecatelji u skijaškom trčanju klasičnom tehnikom (490 natjecatelja). Višestruki osvajač medalja na dosadašnjim natjecanjima Mladen Šporer ponovno je u jakoj konkurenciji uspio osvojiti medalju, ovaj put brončanu, u utrci slobodnom tehnikom za muškarce starosti od 51 do 60 godina. Ove godina do medalje, i to srebrne, došla je i Marija Gubić u slobodnoj tehnici za žene starosti od 71 do 80 godina.



Dio hrvatske ekipe u Carnia Areni



Veselje Marije Gubić na završetku utrke



Osmijeh Mladena Šporera nakon još jedne medalje

Jedanaest hrvatskih predstavnika ostvarili su sljedeće plasmane:

Žene slobodna tehnika (6 km): 51 – 60 godina Tijana Grgurić 16. mjesto i 71 – 80 godina **Marija Gubić 2. mjesto;**

Muškarci slobodna tehnika (8 km): 31 – 40 godina Marin Skender 36. mjesto, 41 – 50 godina David Crnić 36. mjesto, 51 – 60 godina **Mladen Šporer 3. mjesto** i Neven Vukonić 71. mjesto;

Žene klasična tehnika (6 km): 31 – 40 godina Iva Kauzlarić Vu-

jadinović 15. mjesto i 51 – 60 godina Silvana Skender 17. mjesto;

Muškarci klasična tehnika (8 km): 51 – 60 godina Denis Štimac 60. mjesto, Goran Bukovac 62. mjesto i Tomislav Kranjčević 74. mjesto;

Žene štafeta (3 x 6 km): do 50 godina Iva Kauzlarić Vujadinović – Silvana Skender – Tijana Grgurić 21. mjesto;

Muškarci štafeta (4 x 8 km): preko 50 godina Goran Bukovac – Denis Štimac – Mladen Šporer – Neven Vukonić 20. mjesto.



Mladen Šporer (3. mjesto) i Marija Gubić (2. mjesto) s medaljama i priznanjima

Neskijaški dio ekipe činili su Mandica Dasović, Damir Delač, Josip Margaletić, Oliver Vlanić, Ana Žnidarec i vozač autobusa Marijan Mikac. Fakultet šumarstva i drvene tehnologije Sveučilišta u Zagrebu još jednom je izašao u susret te ustupio na korištenje svoj autobus koji je služio za sportske, izletničke i logističke potrebe čitavog tima.

Od deset ponuđenih izleta neskijaški dio ekipe izabrao je putovanje kroz povijest, umjetnost i okuse regije Karnije. Izlet je započeo posjetom dolini vremena Val Pesarini i gradiću satova Pesariis u kojemu se satovi proizvode od 17. stoljeća. U mjestu se nalazi Muzej satova osnovan 2002. go-



Muzej satova na otvorenom u Pesariisu

U mjestu Ovaru poslužen je izvrstan lokalni ručak, a na taj su način posjetitelji upoznati s tradicionalnom gastronomskom ponudom. Odmah uz restoran nalazi se muzej venecijanske ili mletačke pilane. Posvećen je pilani sagrađenoj sredinom 18. stoljeća. Pilanu je pokretao vodeni kotač. Za dopremu drva splavarenjem također se koristila voda obližnjeg potoka. U muzeju se nalaze zbirka drva i zbirka od oko 200 vrsta ptica.

Završni dio izleta bio je obilazak Muzeja Karnije u Tolmezzu te degustacija poznatog kolača tiramisua. Osnivač muzeja bio je geolog, poznavatelj lokalne kulture i senator Michele Gortani. On je 1920-ih godina počeo prikupljati predmete i namještaj koji će činiti muzejsku zbirku smještenu u Palazzo Campeisu iz 17. stoljeća. Zbirka prikazuje sve aspekte života, tradicije i umjetnosti Karnije od 16. do 19. stoljeća, a razvrstana je u trideset soba. Njen bogati fundus čini Muzej Karnije jednim od najvažnijih etnografskih muzeja u Europi.

Kao i svake godine održana je i šumarska konferencija na kojoj domaćini prezentiraju svoje šume i šumarstvo. Konferencija se sastojala od četiri predavanja. Prvo predavanje pod nazivom „Uloga i funkcije Regionalnoga šumarskog korpusa“ održao je zapovjednik Regionalnoga šumarskog korpusa (Corpo Forestale Regionale) Andrea Giorgiutti. Autonomna regija Furlanija-Julijska krajina ima isključivu nadležnost nad Regionalnim šumarskim korpusom. Nakon raspuštanja Državnoga šumarskog korpusa 2016. godine samo autonomne regije i pokrajine Italije, među koje pripada i Furlanija-Julijska krajina, zadržale su Regionalne šumarske korpusse. To su zapravo policijske snage za zaštitu okoliša i šumarstva. Korpus ima četiri šumarska inspektorata, 28 šumarskih stanica i tri specijalizirana odjela za nadzor okoliša, suzbijanje krivolova i edukaciju. Službenici Korpusa imaju policijske dužnosti, nadziru okoliš, provode prevenciju u

dine s prikazom gotovo 400 godina lokalnog urarstva i tehnološke evolucije u proizvodnji satova. Diljem mjesta nalazi se muzej na otvorenom na Stazi monumentalnog urarstva koji uključuje razne tipove satova: sat sa šahovskom pločom, sat s vodenom kadom, sat s turbinom, sat s nagibnom vatom, hidraulični sat, sunčani sat, horizontalni sunčani sat, ali i sat Leonarda da Vincija. Krajem 1930-ih godina u Pesariisu je izrađena posebna vrsta velikog sata s okretanjem. Sat je imao skup malih rotirajućih listića koji su se otvarali poput knjige. Taj je mehanizam padajućih stranica bio preteča ploča za polaske i dolaske koje se mogu vidjeti na gotovo svakoj stanici i zračnoj luci diljem svijeta.



Muzej venecijanske pilane u Applisu

prostoru, brinu o očuvanju i unapređenju šumskih ekosustava, štite šume od požara, prate i sprječavaju lavine, provode edukaciju o šumarstvu i okolišu, nadziru lovačke aktivnosti, bore se protiv krivolova, brinu za dobrobit životinja, nadziru kretanje vozila u prostoru, pomažu u slučaju prirodnih katastrofa, prate brojnost divljih životinja, upravljaju i štite floru i faunu te pomažu u oporavku stradalih životinja.

Drugo predavanje „Šume i šumarstvo u Furlaniji-Julijskoj krajini“ prezentirao je redoviti profesor uzgajanja i gospodarenja šumama Giorgio Alberti s Odjela za poljoprivredne i ekološke znanosti Sveučilišta u Udinama. Uvodno je prikazao stanje šuma u Europi u posljednjih 25 godina. U tom razdoblju površina šuma Europe povećavala se za 700 tisuća ha/god, a u Italiji za 68 tisuća ha/god, što je u 25 godini ukupno 1,7 milijuna ha. Naveo je povezanost broja stanovnika u Alpama s postotkom šumovitosti na primjeru općine Taipana. Početkom 20. stoljeća, kada je broj stanovnika u općini iznosio 3 500, šumovitost područja je bila ispod 30 %. Posljednjih 100 godina broj stanovnika se smanjio sedam puta, a šumovitost je porasla na 80 %. Površina šuma i šumskih zemljišta Furlanije-Julijske krajine je 357 225 ha od čega na šume otpada 89 %. Pod plantažama se nalazi 7 698 ha što je 2 % šumske površine. Šuma se samo malim dijelom nalazi u ravnicama (7 %), a uglavnom u planinama (93 %) regije. Ukupna drvena zaliha šuma regije je 67,8 milijuna m³ (209 m³/ha), a godišnji prirast 1,8 milijuna m³ (5,6 m³/ha). Prema vrsti vlasništva 59 % su privatne šume, a 41 % javne šume. Jedna od teškoća gospodarenja šumama u regiji je mala otvorenost šuma koja iznosi 12 m/ha dok je u austrijskoj Koruškoj otvorenost gospodarskih šuma 60 m/ha, a zaštitnih šuma 40 m/ha. Prema regionalnom zakonu iz 2009. godine propisano je gospodarenje šumama blisko prirodi. Šume su sve više izložene požarima, napadima insekata i ekstremnim vjetrovima. Regija ima veliku biološku raznolikost s preko

3 000 vaskularnih biljaka od čega su 93 vrste drveća. Na tom području su važna odmorista i mjesta za razmnožavanje ptica selica i stanarica. Zaštićena područja zauzimaju 19 % teritorija. Danas su glavne prijetnje klimatske promjene, invazivne vrste i promjena korištenja zemljišta.

Treće predavanje iznio je Giuseppe Vanone, a tema je bila „Lanac opskrbe drvnim sortimentima u Furlaniji-Juljskoj krajini“. Lancem opskrbe obuhvaćeni su šumoposjednici, šumarski stručnjaci, šumarske i drvarske tvrtke, uprava regije Furlanija-Juljska krajina te klaster drvnih usluga šumarstva Furlanije-Juljske krajine. Certificirane tvrtke pokrivaju čitav lanac opskrbe drvom od tvrtki za sječu drva do tvornica namještaja. Krajem 2024. godine bile su 392 certificirane tvrtke i to 227 s FSC i 165 tvrtki s PEFC certifikatom. U regiji je certificirano 95 483 ha šuma, od čega je pod PEFC certifikatom 94 055 ha, a pod FSC certifikatom samo 1 428 ha. Između 2013. i 2024. godine broj šumarskih tvrtki varirao je od 134 do 281 s maksimumom od 298 tvrtki 2020. godine.

Četvrto predavanje održao je Marco Vidoni na temu „Usluge drvoprerade – Šumarski klaster Furlanije-Juljske krajine“. Klaster je osnovan 1995. godine, a nastao je iz potrebe za podrškom i jačanjem subjekata u lancu opskrbe šumama i drvom kako bi se unaprijedio široko zastupljeni, ali slabo iskorišten šumski resurs u planinama Furlanije-Juljske krajine. Organiziran je kao zadruga radi pružanja usluga institucijama i tvrtkama u sektoru. Cilj je širenje kulture aktivnog i odgovornog gospodarenja šumama poboljšanjem njihove multifunkcionalnosti, pošumljavanjem, širenjem šumske infrastrukture i razvojem povezanih usluga ekosustava. Prikazana je analiza regionalnih pilana koja pokazuje trendove rastućeg jaza između malih i velikih pilana, modernizacije pilana, ali i stvaranja proizvoda s niskom dodanom vrijednošću. Zaključak je kako se stalnim ulaganjima tehnološki poboljšava proizvodnja, kako postoji fleksibilnost u opskrbi tržišnih niša po količini i proizvodima, ali da je proizvodnja još uvijek premala u odnosu na bliske konkurente te nedostatak proizvoda s višom dodanom vrijednosti.

U petak 23. siječnja 2026. nakon završetka štafetnih natjecanja na druženju svih sudionika u sklopu Festivala nacija vrlo je zapažen i posjećen bio hrvatski štand s ponudom tople hrane – čevapa s lepinjama. Glavnu riječ u pripremanju ove delicije imali su Goran Bukovac i Marijan Mikac. Većina posjetitelja uz kušanje čevapa snimila je vješte kuhare, a pohvalu za kvalitetu čevapa iskazali su kolege iz Bosne i Hercegovine s opaskom da im u usporedbi s poznatom sarajevskom čevabdžinicom „Željo“ nedostaje samo naziv.

Tijekom održavanja 56. EFNS-a održana je i izborna sjednica Komiteta EFNS-a na kojoj je sudjelovao voditelj hrvatske ekipe Denis Štimac. Ponovno je jednoglasno za novu predsjednicu izabrana Hanna Joronen, za potpredsjednicu Anna Rita Hollaus, za izvršnog direktora (CEO) Ingo



Šumarska konferencija

Esser, za blagajnika Joachim Herr, za komunikacije i internet Susanne Dreher-Zähringer, za odnose s javnošću i sponzore Frank Schmidt te za tehničkog delegata Markus Strack.

Potvrđeni su organizatori slijedeća dva natjecanja: Švicarska (Lenzerheide) od 17. do 23. siječnja 2027. i Latvija (Madona) od 30. siječnja do 5. veljače 2028. Predložene su i potvrđene i neke novine u natjecateljskom dijelu. Uvodi se kategorija Osobe s invaliditetom u kojoj će trčati muškarci i žene zajedno. Uvode se nove kategorije natjecanja za žene i muškarce od 10 do 12 godina, za žene i muškarce od 13 do 18 godina, a ukida se kategorija za žene i muškarce od 16 do 18 godina. Na utrkama štafeta svi muški i ženski natjecatelji trčat će u jednoj starosnoj kategoriji, a ne kao dosad do 50 i preko 50 godina starosti. U pojedinačnim startnim listama više neće biti startnog broja 77 koji se umirovljuje u spomen na mađarskog natjecatelja koji je preminuo na utrci na 45. EFNS-u u Hrvatskoj 2013. godine.

Kao što je i uobičajeno na završnoj ceremoniji zatvaranja, zastavu EFNS-a preuzela je Švicarska, domaćin 57. EFNS-a 2027. godine u mjestu Lenzerheide, gdje je već održan 47. EFNS 2015. godine.

Sudjelovanje na EFNS-u omogućili su središnjica i Ogranak Delnice Hrvatskoga šumarskog društva.



Goran Bukovac i Marijan Mikac pripremaju čevape



A wooden dining table set with chairs, covered with various books and documents, suggesting a study or library setting. The table is surrounded by wooden chairs with green upholstered seats. Several books and papers are scattered across the table surface. In the background, there is a wooden cabinet or bookshelf.

Prva Noć muzeja u Šumarskom domu

Oliver Vlainić

Hrvatsko šumarsko društvo

Dva dana prije same Noći muzeja tajnik HŠD-a Oliver Vlainić sudjelovao je na tiskovnoj konferenciji u organizaciji Hrvatskoga muzejskog društva i Etnografskog muzeja u Zagrebu. Na konferenciji je Hrvatsko šumarsko društvo predstavljeno kao udruga koja prvi put sudjeluje u Noći muzeja.

U dopodnevним satima 30. siječnja 2026. organizirana je šumarska edukacija za učenike 7. razreda OŠ Josipa Jurja Strossmayera iz Zagreba. Šumske pedagoginje Matea Vuković, Tihana Otmačić i Lucija Vargović iz Hrvatskih šuma pretvorile su veliku dvoranu Šumarskog doma u šumarsku radionicu. U sat vremena boravka učenici su se prvo kratko upoznali sa šumarskom povijesti, a nakon toga prošli zanimljivu šumarsku edukaciju i odigrali društvenu igru šumarski *escape room*.

Predvečer nešto prije 18 sati stigli su prvi posjetitelji Noći muzeja u Šumarski dom. Iako Dom nije muzejska institucija, jedan od razloga njegove izgradnje bio je Šumarski muzej koji je u njemu postojao od 1898. godine do poslije Drugoga svjetskog rata kada je rasformiran. Danas se u Domu nalazi sačuvani reljefni Šumovid Kraljevine Hrvatske i Slavonije, s prikazom šuma po vrsti vlasništva iz 1896. godine, veličine 625 x 340 cm u mjerilu 1:75000 koji je bio izložen na milenijskoj izložbi 1896. godine u Budimpešti odakle je vraćen u Zagreb te je opstao već 130 godina. Mnogi su posjetitelji ostali iznenađeni kad su saznali da se osim Šumovida u Zagreb trebao prenijeti i cijeli Šumarski paviljon s izložbe u Budimpešti (baš kao što je prenesen i poznati Umjetnički paviljon). No šumari su uvijek bili praktičniji pa su drveni paviljon u Budimpešti prodali u Budimpešti, kao i dobar dio





izložaka, a novac upotreбили za izgradnju solidnijeg objekta u Zagrebu, na kraju grada.

Prostorija u kojoj se nalazi šumovid, prema ideji predsjednika HŠD-a akademika Igora Anića, poslužila je za preuređenje u Šumarovu sobu opremljenu starim namještajem, velikom fotografijom s prikazom iskorištavanja slavonskih hrastika, starim osnovama gospodarenja, najstarijom knjigom u knjižnici HŠD-a *Sylvicultura Oeconomica* iz 1732. godine, najstarijim zakonom o šumama iz 1770. godine te knjigama o Josipu Kozarcu, književniku, šumaru i uredniku Šumarskog lista od 1896. do 1898. godine. Vođenje kroz ovaj zanimljiv postav većinom je vodila predsjednica Sekcije za povijest šumarstva Mandica Dasović, a asistirao je Branko Meštrić koji je posjetitelje vodio i u ostalim dvoranama.

U sobi tajnika Olivera Vlaineića, koji je bio i prezentator, posjetitelji su mogli vidjeti knjigu zapisnika sjednica Upravnog odbora i Skupština Hrvatsko-slavonskoga šumarskog društva pisanu od 1876. do 1899. godine, Zlatnu knjigu utemeljitelja (donatora) Društva, povelju donatorima iz 1886. godine, člansku iskaznicu iz 1887. godine, primjerak Spomenice šumarstva 1876. – 1926. s kožnim koricama i još nekoliko eksponata.

Dvorana „Šumarski četvrtak“ nudila je, osim najstarije rukopisne šumarske karte šuma Ličke pukovnije iz 1765. godine i foto reprodukcije ulja na platnu „U slavonskim hrastovim šumama“, pregled povijesti Šumarskog lista s primjerkom prvoga tiskanog broja 1877. godine i karakterističnim naslovnicaama kroz 149 godina izdavanja te promocijom naslovnice prvog broja u jubilarnoj 150. godini izlaženja. Tu se moglo pogledati stare fotografije Šumarskog doma, fotografije i karikature starih šumara, ali i ostale domaće i strane šumarske časopise koji dolaze razmjenom kao i bogatu izdavačku djelatnost hrvatskih šumarskih institucija s vrijednim knjigama.

U Velikoj dvorani Šumarsku edukativnu radionicu za najmlađe vodile su Matea Vuković, Tihana Otmačić i Lucija Vargović. Za edukaciju su između ostalih materijala i alata korištene i senzorne kutije za doživljaj šume. Šuma se tako dočarala mirisom pomoću staklenki ispunjenih lišćem, plodovima, zemljom i drugim uzorcima iz šume. Osjetom dodira prepoznavao se materijal iz šume sakriven u kutijama u koje se mogla zavući ruka i opipati plodovi, listovi, dijelovi bilja. Kutije sa skrivenim zvučnicima emitirale su zvukove iz šume (ptice, kukce, šuštanje lišća) i tako pozivale posjetitelje na osluškivanje prirode. Puno posjetitelja probalo je saditi biljke i većinom su ih odnijeli kući. Šumarski *escape room* je prilagođena društvena igra u kojoj su se odgovori na postavljena pitanja krili na eksponatima unutar Šumarskog doma. Cilj igre nije bio pronaći izlaz već uz niz zagonetki doći do škrinje s blagom iz koje su mogli ponijeti kući sadnice bukve, dječje knjige o šumama ili časopis Hrvatske šume.

Za dodatni ugođaj ispunjen renesansnom glazbom pobrinuo se ansambl blok flauta „Flauto dolce consort“ pod vodstvom umjetničkog voditelja Sebastijana Sarape s tri glazbena seta. Svojom izvedbom na drvenim instrumentima dočarali su povezanost šume i glazbe. U tri prostorije cijelo vrijeme prikazivani su foto i video materijali iz povijesti šumarstva i Šumarskog doma te dokumentarne i edukativne emisije o šumarstvu iz naše bogate mediateke.



Ulazno stubište kao i hodnici opremljeni su poučnim pločama iz povijesti hrvatskoga šumarstva i Hrvatskoga šumarskog društva, što će ostati kao stalni postav toga prostora uz povremeno postavljanje tematskih izložbi. Osim upoznavanja s bogatom šumarskom prošlosti posjetitelji su mogli dobiti odgovore na uobičajena pitanja šumarskih laika zašto se uopće sijeku šume i da li je danas manje šume nego prije.

Noć muzeja u Šumarskom domu završila je u 1 sat poslije ponoći. U sedam sati, koliko je Šumarski dom bio otvoren za posjetitelje, kroz naše je prostore prošlo oko 300 posjetitelja, a osim toga sakupljeno je preko 6000 klikova zainteresiranih za program Noći muzeja u Šumarskom domu. Među posjetiteljima bilo je studenata šumarstva i drugih fakulteta, mladih i starih šumara, ljubitelja prirode, kulture i muzeja, obitelji s djecom, a i predsjednik Uprave Hrvatskih šuma d.o.o. Joško Radanović. Svoje zadovoljstvo događajem iskazao je predsjednik HŠD-a akademik Igor Anić koji je i sam pomogao idejama za uređenje, posudbom dijela eksponata i upoznavanjem posjetitelja s prošlosti šumarstva i HŠD-a.

Prema riječima posjetitelja posebnost šumarske Noći muzeja bila je u tome što se posvetilo svakome tko je došao. Vodilo

se grupe, ali i pojedince kroz sve eksponate ili ih se barem uputilo gdje što mogu vidjeti te gdje su izložene najvrjednije stvari. Na ulazu je svima pojašnjeno gdje su došli i mnogi su rado saslušali osnovne informacije o Šumarskom domu i Hrvatskom šumarskom društvu. Obilazak se pretvorio u razgovore koji su prelazili teme izloženih eksponata te prikazali šumare kao otvorenu struku i stručnjake koji će uvijek pojasniti stručne šumarske radove. Zbog tog toplog domaćinstva i prezentacije „muzeja“ mnogi posjetitelji su ostali i sat vremena, a mnogi i duže, pa je čitavo vrijeme bio prisutan velik broj gostiju. Interes posjetitelja različitih profila, domaćih i stranaca, starih i mladih, svih struka, nadmašio je očekivanja. Atmosfera je također bila odlična, ponajviše jer gosti nisu znali što ih očekuje te su redom bili iznenađeni sadržajima, oduševljeni i puni pohvala.

Prema pozitivnim reakcijama posjetitelja ovaj vid prezentacije Hrvatskoga šumarskog društva, Šumarskog doma, Hrvatskih šuma d.o.o., kao i šumarstva općenito može se ocijeniti opravdanim i preporučljivim za slično djelovanje i ubuduće, ne samo u Noći muzeja nego i u drugim prigodama važnima za šume, šumarstvo i Hrvatsko šumarsko društvo.



Zapisnik 129. redovite sjednice Skupštine Hrvatskoga šumarskog društva

održane 11. prosinca 2025. u Knjižnici Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti,
Strossmayerov trg 14, Zagreb s početkom u 11 sati

Predsjednik HŠD akademik Igor Anić otvorio je sjednicu i pozdravio nazočne članove Skupštine prvi put na sjednici u prostoru HAZU. Nabrojio je sve dosadašnje šumare akademike: Aleksandar Ugrenović, Milan Anić, Mirko Vidačević, Dušan Klepac, Slavko Matić i Igor Anić. Zahvalio se HAZU na gostoprimstvu i pozdravio predsjednika HAZU akademika Velimira Neidhardta koji se obratio nazočnim članovima Skupštine. Akademik Velimir Neidhardt u svom govoru istaknuo je kako je izgradnja palače HAZU financirana sredstvima biskupskih šuma Josipa Jurja Strossmayera. Naveo je da HAZU mora voditi računa o opstojnosti hrvatskoga naroda koji se kao mali narod mora dokazivati znanjem, znanostu i umjetnošću. Pohvalio je Hrvatsko šumarsko društvo kao treće najstarije šumarsko društvo u Europi s vlastitim domom i vlastitim glasilom. Kao zanimljivost naveo je svoga strica profesora geodezije na Šumarskom fakultetu Nikolu Neidhardta koji je 1932. i 1933. godine organizirao šumarski dio Pokretne poljoprivredne izložbe u tadašnjoj Kraljevini Jugoslaviji, a bio je i dugogodišnji tajnik Jugoslavenskoga šumarskog udruženja (1928. – 1936.). Na kraju svoga govora akademik Velimir Neidhardt zaželio je Skupštini uspješan rad.

Za rad Skupštine postoji propisan broj članova Skupštine (kvorum) za donošenje pravovaljanih odluka jer je nazočno 68 od 96 mogućih delegata Skupštine (71 %). Nazočni su članovi Skupštine iz Upravnog odbora (12) te članovi po ograncima (zajedno s predsjednicima ogranka): Bjelovar (3), Buzet (3), Gospić (4), Karlovac (4), Koprivnica (4), Našice (2), Nova Gradiška (4), Ogulin (3), Osijek (3), Požega (4), Senj (2), Sisak (2), Slavonski Brod (3), „Dalmacija“ Split (3), Vinkovci (4), Virovitica (3) i Zagreb (5). Ogranci Delnice i Varaždin nemaju svoje predstavnike. Na sjednici su nazočni članovi Nadzornog odbora (4), tajnik i voditeljica računovodstveno-financijskih poslova HŠD. Potpisi nazočnih nalaze se u prilogu zapisnika.

Predsjednik HŠD Igor Anić predložio je sljedeći dnevni red:

1. Izbor radnih tijela Skupštine:
 - a. Radnog predsjedništva (Predsjednik i 2 člana)
 - b. Zapisničara
 - c. Ovjerovitelja zapisnika (2 člana)
2. Izvješće o radu HŠD od prethodne Skupštine:
 - a. Izvješće Predsjednika
 - b. Izvješće Glavnog urednika Šumarskog lista
3. Rebalans financijskog plana za 2025. godinu
4. Program rada i financijski plan za 2026. godinu
5. Slobodna riječ

Predloženi Dnevni red jednoglasno je usvojen.

Ad 1. Izbor radnih tijela Skupštine

Predsjednik HŠD Igor Anić predložio je u radna tijela Skupštine:

- a) Radnog predsjedništva (Predsjednik i 2 člana)
Darko Posarić, dipl. ing. šum., Valentina Kulaš, dipl. ing. šum. i Marina Rukavina, dipl. ing. šum.
- b) Zapisničara
Oliver Vlanić, dipl. ing. šum.
- c) Ovjerovitelja zapisnika (2 člana)
Izv. prof. dr. sc. Dinko Vusić i Ninoslav Matošević, dipl. ing. šum.

Prijedlog radnih tijela Skupštine jednoglasno je usvojen.

Nakon što je Radno predsjedništvo zauzelo mjesta predsjednik Darko Posarić preuzeo je vođenje Skupštine i pod točkom 2. pozvao predsjednika HŠD Igora Anića da podnese izvješće o radu HŠD u razdoblju od prethodne sjednice Skupštine.

Ad 2. Izvješće o radu HŠD od prethodne Skupštine

a) Izvješće Predsjednika

Poštovani članovi Skupštine Hrvatskoga šumarskog društva, drage kolegice i kolege, poštovane dame i gospodo!

Hrvatsko šumarsko društvo (HŠD) ove godine bilježi 179. godinu djelovanja, a njegovo znanstveno-stručno i staleško glasilo Šumarski list 149. godinu izlaženja. Istodobno, hrvatsko šumarstvo je napunilo 260 godina računajući od 23. veljače 1765. kada je u Karlovcu, sjedištu Generalata Vojne granice, odlučeno o osnutku prve tri šumarije na našem prostoru u Baškim Oštarijama, Krasnu i Petrovoj gori. Spomenut ćemo još nekoliko vrijednih ovogodišnjih obljetnica povezanih s hrvatskim šumarstvom: 270 godina od objave prve instrukcije za gospodarenje i očuvanje slavonskih šuma, 165 godina od početka strukovne šumarske nastave na Gospodarsko-šumarskom učilištu u Križevcima, 130 godina Instituta za jadranske kulture i melioraciju krša u Splitu, 100 godina Hrvatskoga lovačkog saveza, 80 godina Hrvatskoga šumarskog instituta, 65 godina od razdvajanja Poljoprivredno-šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu na dva samostalna fakulteta, 35 godina tvrtke Hrvatske šume d. o. o., 30 godina Akademije šumarskih znanosti i 20 godina Salona fotografije Šuma okom šumara.

U 2026. godini možemo najaviti sljedeće obljetnice: 180 godina osnivanja Hrvatskoga šumarskog društva i 150 godina neprekinutog izlaženja znanstveno-stručnog i staleškog glasila Šumarski list. Pozivamo sve ogranke i

sekcije HŠD da barem jednu aktivnost tijekom sljedeće godine posvete tome. Inače, u svim aktivnostima tijekom godine treba naglašavati ove doista velike obljetnice i njihovu vrijednost. Svakako osigurajte medijsku vidljivost obilježavanja u elektroničkim i tiskanim medijima te na portalima i društvenim mrežama. Uvijek naglašavajmo i ponosimo se činjenicom kako je nakon Njemačke i Švicarske treće šumarsko društvo u Europi osnovano u tadašnjoj Austro-Ugarskoj i to u Zagrebu, u Hrvatskoj, a ne u politički moćnijim središtima toga doba kao što su primjerice bili Beč, Budimpešta i Prag. Šumarski list sa svojih 150 godina neprekinutog izlazenja pripada među najstarije šumarske i uopće ekološke časopise na svijetu. U svim aktivnostima i promidžbenim materijalima koristite logo naših obljetnica koji je izabrao UO HŠD i kojeg promoviramo na ovoj Skupštini HŠD. Uz navedeno, podsjećamo kako se u sljedećoj godini navršava i 20 godina postojanja Hrvatske komore inženjera šumarstva i drvne tehnologije.

Prema evidenciji članstva HŠD danas broji 2852 člana raspoređena u 19 ogranaka koji samostalno radno i financijski djeluju. Struktura članstva po ogranacima izgleda ovako: Bjelovar 279, Buzet 64, Delnice 166, Gospić 166, Karlovac 314, Koprivnica 131, Našice 85, Nova Gradiška 110, Ogulin 71, Osijek 100, Požega 160, Senj 113, Sisak 117, Slavonski Brod 74, Split 139, Varaždin 47, Vinkovci 340, Virovitica 100 i Zagreb 276. Predsjednik HŠD akademik Igor Anić svojom promidžbom studentima prve godine diplomskih studija i ove godine učlanio je ukupno 30 novih članova, 28 studenata i 2 stručna suradnika, u 10 ogranaka HŠD (Buzet, Delnice, Karlovac, Koprivnica, Našice, Sisak, „Dalmacija“ Split, Vinkovci, Virovitica i Zagreb).

Navest ćemo imena naših kolega za koje imamo podatke o smrti tijekom 2025. godine: Dražen Sertić, Ivan Hodić, Mate Mihanić, Mile Đodan, Mirko Miladinović, Petar Prebježić, Dubravko Hodak i Branko Grbac. Pozivam vas da minutom šutnje odamo počast spomenutim i ostalim preminulim članovima HŠD.

Sjednica Skupštine HŠD u proteklom razdoblju održana je dva puta. Redovita 128. sjednica Skupštine održana je 12. prosinca 2024. u Malom amfiteatru Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu. Elektronička 1. sjednica Skupštine održana je 26. – 28. veljače 2025. godine. Zapisnici sjednica objavljeni su u Šumarskom listu u brojevima 1-2/2025: 99-107 i 3-4/2025: 210 te na internetskoj stranici HŠD.



Upravni odbor HŠD u proteklom razdoblju je održao jednu elektroničku i dvije kontaktne sjednice. Elektronička sjednica je održana 24. – 25. veljače 2025. godine. Nakon toga, prva sjednica je održana 23. svibnja 2025. na Nastavno-pokusnom šumskom objektu Zalesina Sveučilišta u Zagrebu Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije. Druga sjednica je održana 27. studenog 2025. u Šumarskom domu kao priprema za 129. redovitu sjednicu Skupštine HŠD. Zapisnici sjednica Upravnog odbora HŠD su objavljeni u Šumarskom listu, u brojevima 3-4/2025: 206-209, 5-6/2025: 298-306 i 11-12/2025: 586-598 te na internetskoj stranici HŠD.

Povjerenstvo za popis imovine i potraživanja na dan 31. prosinca 2024. godine je obavilo svoju dužnost i podnijelo izvješće koje je usvojeno na elektroničkoj sjednici Skupštine 26. – 28. veljače 2025. godine.

Nadzorni odbor se sastao 20. veljače 2025. godine. Pregledao je materijalno-financijsku dokumentaciju, Izvješće Povjerenstva za popis imovine i potraživanja na dan 31. prosinca 2024. i Izvješće o izvršenju financijskog plana za 2024. te predložio Skupštini prihvaćanje izvješća o poslovanju HŠD za 2024. godinu. Skupština je prihvatila prijedlog Nadzornog odbora na elektroničkoj sjednici 26. – 28. veljače 2025. godine. Dodajmo kako je revizorska tvrtka Kulić i Spork d. o. o. obavila revizorski uvid u financijska izvješća HŠD za 2024. godinu. Izvješće je objavljeno na internetskoj stranici. Prema kriteriju revizorskog uvida nisu uočene nepravilnosti u financijskom izvještavanju.

Rad 19 ogranaka Društva odvijao se kroz brojne stručne i društvene aktivnosti. Središnjica je ogranacima pomogla u skladu s mogućnostima. O svim aktivnostima detaljnije je izvještavano na sjednicama Upravnog odbora. Dio aktivnosti je opisan na stranicama Šumarskog lista i na našoj internetskoj stranici.

Internetska stranica se redovito dopunjuje novim vijestima koje ogranci HŠD pošalju na e-adresu središnjice. Ogranci su dosta aktivni u svome radu, ali raznoliko ostavljaju pisane tragove o tome. Aktivnosti su veće od njihovih objava. Ogranci Bjelovar, Gospić, Karlovac, Nova Gradiška, Ogulin, Sisak, Varaždin, Virovitica i Zagreb koriste svoje stranice na mrežnoj stranici HŠD za stalne ili povremene vijesti. Facebook koriste ogranci Bjelovar, Nova Gradiška i Ogulin te Sekcija za urbano šumarstvo. Koristim priliku pozvati sve ogranke i sekcije da o aktivnostima redovito kratko izvijeste na našim web ili facebook stranicama ili na vlastitim podstranicama. Detaljnije s fotografijama može se izvijestiti u Šumarskom listu.



Članovi HŠD u proteklom su se razdoblju uključili u brojna događanja od kojih navodimo sljedeće:

a) obilježavanje za nas važnih datuma i obljetnica: Rođendana hrvatskog šumarstva 23. veljače, Međunarodnog dana šuma 21. ožujka, Dana planeta Zemlje 22. travnja, Dana hrvatskog šumarstva 20. lipnja i Dana urbanog šumarstva 15. studenog.

U povodu Međunarodnog dana šuma 21. ožujka i 260 godina hrvatskog šumarstva u emisiji Hrvatske televizije Dobro jutro Hrvatska gostovali su predsjednik HŠD akademik Igor Anić i direktor Sektora za šumarstvo Hrvatskih šuma mr. sc. Krešimir Žagar. Tih dana ogranci HŠD su obilježili Međunarodni dan šuma raznim aktivnostima: Ogranak Koprivnica 20. ožujka akcijom pošumljavanja u Šumariji Repaš, Ogranak Zagreb 22. ožujka akcijom uklanjanja otpada s područja Ježdovca, Ogranak Vinkovci 25. ožujka organizacijom kreativne radionice crtanja i slikanja ispred zgrade UŠP Vinkovci u središnjem gradskom parku, Ogranak Varaždin 21. ožujka sadnjom sadnica u školskim dvorištima srednje Gospodarske škole iz Varaždina i osnovne škole Ivan Kukuljević Sakcinski iz Ivanca s kratkim predavanjem o šumama i obljetnici 260 godina šumarstva u Hrvatskoj te 29. ožujka akcijom Zelena čistka 2025. na području općine Petrijanec i u Gospodarskoj jedinici Zelendvor, Ogranak Ogulin 5. travnja također akcijom Zelena čistka 2025. na području Šumarije Saborsko-Plaški, Ogranak Sisak sadnjom klonova petrinjske lipe Ilirika u OŠ Mate Lovraka u Petrinji i sadnjom sa Šumoborcima u GJ Kotar-Stari gaj Šumarije Petrinja, Ogranak Karlovac s više aktivnosti: akcijom čišćenja u Pisarovini, predavanjima u Jastrebarskom i Slunju, posjetom šumi vrtičke djece iz Duge Rese, edukativnom šetnjom Petrovom gorom učenika OŠ Vojnić, organizacijom okruglog stola i panel raspravom Šuma Kozjača: jučer-danas-sutra u UŠP Karlovac te početkom suradnje s Javnom ustanovom Natura Viva i Fakultetom šumarstva i drvne tehnologije na istraživanju kukaca s područja Značajnog krajobraza Petrova gora. Ogranak Gospić u suorganizaciji s UŠP Gospić i Parkom prirode Velebit, a pod pokroviteljstvom Ličko-senjske županije, obilježio je 26. ožujka Međunarodni dan šuma i 260 godina hrvatskog šumarstva s dva predavanja u prostoru Javne ustanove Parka prirode Velebit u Gospiću. Tom prilikom Hrvatsko šumarsko društvo obogatilo je fundus knjiga Samostalne narodne knjižnice u Gospiću darivanjem 22 stručne i edukativne publikacije. U sklopu navedenih obilježavanja Ogranak Gospić je 18. ožujka organizirao predavanje o povijesti šumarstva i otvaranje retrospektivne izložbe Šuma okom šumara za učenike gimnazije i strukovne škole u Gospiću. Ogranak „Dalmacija“ Split sudjelovao je u pet akcija pošumljavanja u kampanji Boranka s oko 1000 volontera te u još dvije akcije pošumljavanja na području UŠP Splita.

Na Dan planeta Zemlje 22. travnja održane su brojne aktivnosti diljem Hrvatske. Hrvatsko šumarsko društvo tim povodom darovalo je 20 stručnih i edukativnih knjiga Gradskoj knjižnici Janet Majnarich Delnice koja je ujedno bila domaćin izložbe Šuma okom šumara u organizaciji UŠP Delnice i Ogranka Delnice. UŠP Gospić i Ogranak Gospić istog dana postavili su izložbu u Zimskom vrtu hotela Jezero na Plitvičkim jezerima. Na otvorenju izložbe bili su i ravnatelji nacionalnih parkova i parkova prirode.

HŠD je sudjelovalo u obilježavanju 127 godina Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, 80 godina Hrvatskog šumarskog instituta i 30 godina Akademije šumarskih znanosti.

b) znanstveni i stručni skupovi: znanstveni skup Zaštita šuma i izazovi današnjice – Švicarska, Slovenija, Bosna i Hercegovina, Hrvatska (Zagreb, 5. ožujka), 11. Dani Josipa Kozarca (Lipovljani, 14. ožujka), okrugli stol Park šume grada Zagreba: pluća grada ili prostor urbanizacije (Zagreb, 20. ožujka), stručni skup Osjeti puls šume: Inovativni pristupi u monitoringu šumskih ekosustava (Plitvička jezera, 20. – 21. ožujka), stručni skup na temu zaštite i obnove šuma te zaštićenih krajolika Gorskog kotara (Delnice, 21. ožujka), stručni skup Uloga zelene infrastrukture i prirodne baštine u očuvanju hrvatskog identiteta i oblikovanju održive budućnosti (Zagreb, 9. svibnja), 22. Drvno-tehnološka konferencija (Opatija, 12. – 13. svibnja), Europski forum o urbanom šumarstvu (Zurich, 3. – 7. lipnja), okrugli stol Utjecaj invazivnih stranih biljaka na upravljanje urbanim zelenim površinama (Zagreb, 19. rujna), znanstveno-stručni skup Izazovi urbanog šumarstva u prilagodbi na klimatske promjene (Vinkovci, 16. – 17. listopada), znanstveni skup Zrin – 730 godina prvog spomena (24. listopada), međunarodna znanstvena konferencija mladih znanstvenika Conference for the New Generation of Forest Researchers (Jastrebarsko, 13. – 14. studenog).

c) manifestacije, promocije i izložbe: Dan inženjera Republike Hrvatske (Zagreb, 7. ožujka), predstavljanje knjige Zvonimira Grgljanića Priče o ritskim šumama Vukovarskih dunavskih ada – Homilije o vremenu (Vukovar, 23. travnja), 59. Međunarodna vrtna izložba Floraart 2025 (Zagreb, 8. – 11. svibnja), 2. dječji Šuma fest (Delnice, 21. svibnja), 3. Croatian Forestry Forum – CroFor (Zagreb, 23. svibnja), 10. hrvatski festival kiparenja motornom pilom (Salinovec, 14. – 15. lipnja 2025.), 20. Bjelovarski salon fotografije Šuma okom šumara s međunarodnim sudjelovanjem (Bjelovar, 17. lipnja), 4. Rika fest s 27. smotrom lovačkih rogista i lovačkih pjevačkih zborova te revija lovačkih pasa (Delnice, 30. kolovoza), 25. Dani slavonske šume (Našice, 19. rujna), 60. vinkovačke jeseni (Vinkovci, 12. – 21. rujna), 32. Podravski motivi (Koprivnica, 3. – 5. listopada), 26. izložba tradicijskih proizvoda Jesen u Lici (Gospić, 3. – 5. listopada), Misa i blagoslov jaslica na Sljemenu (7. prosinca).

U organizaciji Hrvatskih šuma d. o. o. UŠP Zagreb, Grada Zagreb i Hrvatskoga šumarskog društva Sekcije za urbano šumarstvo u Zagrebu je 21. studenog otvorena Poučna staza urbanog šumarstva Jelenovac. Članovi svih ogranka sudjeluju u projektu Hrvatskih šuma Škola u šumi, šuma u školi. U Sisku su održane radionice na temu Stanarica ili selica (27. veljače) i Drveće našeg grada (9. svibnja). Tajnik HŠD Oliver Vlanić održao je javna predavanja na temu 260 godina hrvatskog šumarstva u Gospiću, Otočcu, Ogulinu i Sisku.

d) sportske manifestacije: 55. Europsko šumarsko natjecanje u nordijskom skijanju (10. – 15. veljače), 26. Državno natjecanje inženjera šumarstva i drvne tehnologije u tenisu i malonogometni turnir (Vinkovci, 9. – 10. svibnja), 150 godina organiziranog planinarenja u Hrvatskoj (Plešivica, 17. svibnja), Lađa u New Yorku (New York, 19. – 25. svibnja), 3. Lađarski kup grada Lipika (Lipik, 31. svibnja), planinarenje (Velebit-Štirovača, 19. – 22. lipnja), 28. Maraton lađa na

Neretvi (Metković – Ploče, 9. kolovoza), 3. šumarski sportski susreti Alpe-Adria (Rab, 3. – 5. listopada), 14. Šumarska memorijalna biciklijada Vinkovci/Osijek – Vukovar (Vinkovci, 8. studenog) i malonogometni turnir (Velika Gorica, 21. studenog).

e) ekskurzije: Brojni ogranci i središnjica organizirali su ekskurzije u zemlji i inozemstvu: *Bjelovar* u Liku, na Klek i u Italiju, *Buzet* na Rab i rijeke Dalmacije, *Delnice* na Rab, *Gospić* u Sisak, na Banovinu i na Mali Lošinj, *Karlovac* u Park prirode Lonjsko polje, Novu Gradišku i Tursku, *Koprivnica* u Tursku, *Nova Gradiška* u Park prirode Lonjsko polje i Italiju, *Ogulin* u Dalmaciju, Park prirode Medvednicu i Park prirode Lonjsko polje, *Osijek* u Bjelovar, Italiju i Mađarsku, *Požega* u Austriju i Azurnu obalu, *Sisak* u Dalmaciju, Karlovac u Andaluziju, *Slavonski Brod* u Park prirode Lonjsko polje i Italiju, *Split* u Crnu Goru, *Vinkovci* u Češku i Slovačku, *Virovitica* u Park prirode Medvednicu i na Dravu, *Zagreb* u Bosnu i Hercegovinu te članovi Upravnog i Nadzornog odbora Hrvatskoga šumarskog društva u Tursku.

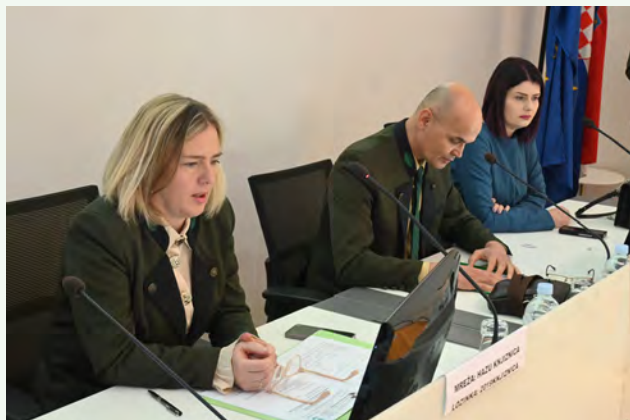
Na poticaj Hrvatske komore inženjera šumarstva i drvne tehnologije 20. studenog 2025. na Fakultetu šumarstva i drvne tehnologije je održana tematska sjednica Odbora za poljoprivredu Hrvatskog sabora na temu 260 godina hrvatskog šumarstva. Akademik Igor Anić, predsjednik HŠD, održao je izlaganje O povijesti hrvatskog šumarstva. Između ostaloga je istaknuo: „U proteklih 260 godina hrvatsko šumarstvo je očuvalo i povećalo šumovitost Hrvatske koja danas iznosi 45 posto kopnenog dijela teritorija, očuvalo visoku prirodnost 97 posto šuma, stvorilo visokokvalitetne i prepoznatljive šume hrasta lužnjaka, hrasta kitnjaka, obične bukve i obične jele, spriječilo nastavak degradacije mediteranskih šuma, melioracijom i njegom poboljšalo kvalitetu i stabilnost mnogih degradiranih šuma te stvorilo i očuvalo povoljne životne uvjete u mnogim područjima Hrvatske.“ Anić je rekao da su problemi koji danas opterećuju hrvatsko šumarstvo velike šumske štete uzrokovane abiotskim i biotskim čimbenicima čiji se intenzitet i učestalost povezuju s klimatskim promjenama, obezvrjeđivanje šuma i šumskog zemljišta, netržišne cijene drva, preveliko uplitanje politike u struku, slaba percepcija šumarske djelatnosti u javnosti i smanjena ulaganja u šumarsku znanost. Detaljnije o tome na internetskim stranicama Odbora za poljoprivredu Hrvatskog sabora i Hrvatske komore inženjera šumarstva i drvne tehnologije.

Međunarodna aktivnost u proteklom je razdoblju bila intenzivna. Sekcija Pro Silva Croatia sudjelovala je na

godišnjem sastanku Pro Silve na talijanskom otoku Sardiniji 7. – 9. svibnja. Organizator skupa bila je Pro Silva Italija, a hrvatsku Pro Silvu predstavljala je četveročlana delegacija. Hrvatska je preuzela domaćinstvo okupljanja 2027. godine. U posjeti Hrvatskoj 11. – 13. lipnja bili su zaposlenici mađarske šumarske tvrtke Pilisi Parkerdő d. o. o. koja gospodari državnim šumama u okolici Budimpešte. Organizator posjeta bila je središnjica HŠD u suradnji s ograncima HŠD i podružnicama Hrvatskih šuma u Vinkovcima i Novoj Gradiški te članovima HŠD iz NP Plitvička jezera. Na temelju suradnje s Njemačkim šumarskim društvom središnjica HŠD organizirala je 17. – 19. lipnja stručno usavršavanje za tri njemačka prvostupnika šumarstva pripravnika i 20. – 24. listopada stručno usavršavanje za tri njemačka magistra inženjera šumarstva pripravnika. Tijekom mjeseca lipnja diljem Hrvatske održana međunarodno šumarska entomološka ekspedicija. Organizator ekspedicije bio je profesor Boris Hrašovec s Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije. U 11 dana od istoka Slavonije, preko Gorskog kotara, Like, do Paklenice, obale i otoka, eminentni znanstvenici iz Švedske, Norveške, Češke i Hrvatske, proučavali su bogatu entomofaunu hrvatskih šuma. U Bonnu u Njemačkoj 4. – 5. srpnja održana je godišnja skupština Europskog vijeća za arborikulturu (EAC) čiji je član Sekcija za urbano šumarstvo HŠD. Delegacija HŠD je sudjelovala na 9. šumarijadi FBiH (Olovo, BiH, 3. – 5. rujna).

Suradnja s institucijama u sektoru je bila primjerena. U Direkciji Hrvatskih šuma d. o. o. održan je 8. siječnja 2025. sastanak predsjednika HŠD akademika Igora Anića i tajnika HŠD Olivera Vlanića s Upravom Hrvatskih šuma. Hrvatski šumarski institut bio je 16. travnja domaćin predstavnicima šumarskih institucija što je treći dosadašnji sastanak iniciran od Hrvatskoga šumarskog društva početkom 2024. godine. Hrvatska komora inženjera šumarstva i drvne tehnologije bila je 16. listopada četvrti domaćin predstavnicima šumarskih institucija. Na svim sastancima cilj je u neformalnom druženju razmijeniti mišljenja i stavove o trenutnoj situaciji u sektoru.

Treba istaknuti kako su se na svaku našu zamolbu za pomoć u organizaciji događanja spremno odazvali Hrvatske šume d. o. o., Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatski šumarski institut i Hrvatska komora inženjera šumarstva i drvne tehnologije. Vrijedi i obrnuto: HŠD se u skladu sa svojim mogućnostima stavilo na raspolaganje na zamolbu svake institucije u sektoru. Tako ćemo se ponašati i u budućnosti. Svim institucijama veliko hvala na suradnji tijekom 2025. godine.



Naše znanstveno-stručno i staleško glasilo Šumarski list redovito je izlazio kroz godinu. Uvodnik časopisa je zadržao svoju aktualnost. Ove godine naslovi Uvodnika su bili: 260 godina hrvatskog šumarstva (1765. – 2025.) (1-2/2025), Krčenje i obezvrjeđivanje šuma u hrvatskoj vodi urušavanju potrajnosti šuma, njihovih općekorisnih funkcija i višenamjenske uloge (3-4/2025), Treba li se čuditi većem izvozu drva nego namještaja iz Hrvatske? (5-6/2025), Šumarija – osnovna organizacijska jedinica šumarstva (7-8/2025), Nema napretka u šumarstvu bez znanosti i bez kulture (9-10/2025) i Na kraju 2025. godine (11-12/2025).

Nova glavna urednica Šumarskog lista prof. dr. sc. Marilena Idžojić preuzela je uređivanje časopisa od broja 7-8/2025. Detaljnije izvješće podnijet će na posebnoj točki dnevnog reda ove Skupštine. Spomenimo kako je uvedeno nekoliko promjena koje su osvjježile Šumarski list: donesene su nove upute za autore i uvedena je nova rubrika pod naslovom Iznimna stabla naših šuma. Upravni odbor je na svojoj 2. sjednici usvojio prijedlog članova novog uredničkog odbora, međunarodnog uredničkog odbora i savjetodavnog odbora. Budući da je iskazan interes za oglašavanje u Šumarskom listu donesen je cjenik oglašavanja. Pripremljen je prijedlog redizajna časopisa.

Podsjetimo da izdavanje Šumarskog lista podupiru suizdavač Hrvatska komora inženjera šumarstva i drvne tehnologije putem pretplate za svoje članove i Hrvatske šume d. o. o. putem pretplate na ugovoreni broj primjeraka. Ministarstvo znanosti, obrazovanja i mladih Republike Hrvatske financijski podupire časopis putem javnog natječaja na koji se redovito javljamo svake godine.

U listopadu 2025. u Šumarskom domu su obavljeni radovi na uređenju ulaznih vrata i soboslikarski radovi u dijelu hodnika na Trgu Mažuranića 11 i Vukotinovićevoj 2. Dvoja vrata su nakon pripreme i zaštite oličena izvornom bojom. Neposredno uz vrata sanirani su oštećeni dijelovi zida od poda do stropa. Sanirani su i zidovi hodnika između uredskih prostora od ulaza do Velike dvorane koji su oštećeni u potresima 2020. i 2021. godine. Napravljena je zaštita stolova u dvorani Šumarski četvrtak.

Stomatološka poliklinika završila je s radovima na 1. katu zgrade. U predmetu koji se pred Trgovačkim sudom u Zagrebu vodi po tužbi FKIT-a protiv HŠD-a radi proglašenja ovrhe nedopuštenom i dalje očekujemo sud da zakaže novu raspravu. Sud je dopisima tražio od Općinskog građanskog suda u Zagrebu dostavu predmeta u rujnu i početkom studenog 2025. godine. U predmetu ovrhe nakon što je FINA obavijestila sud da je ovrha u potpunosti naplaćena zatraženi su naknadni troškovi ovršnog postupka. Očekujemo donošenje dopunskog rješenja o naknadnim troškovima ovršnog postupka. U predmetu pred Općinskim građanskim sudom u Zagrebu nije bilo nikakvih novosti osim što je predmet povodom žalbe dodijeljen u rad drugom sucu. Očekujemo donošenje drugostupanjske odluke Županijskog suda u Zagrebu povodom žalbe.

Zaposlenici Stručnih službi HŠD obavljali su redovito, stručno i vrijedno svoje zadatke i rješavali sve sitnije i krupnije poteškoće u sklopu Šumarskog doma te brinuli o zakonitom poslovanju HŠD.

Na kraju izvješća koristim prigodu zahvaliti se svim članovima HŠD, zaposlenicima stručnih službi HŠD i uredništvu

Šumarskog lista koji su svojim radom nastavili kontinuitet djelovanja HŠD u njegovoj 179. godini djelovanja.

Svim nazočnima na Skupštini kao i svim članovima HŠD želim puno zdravlja, sreće, poslovnih i osobnih uspjeha u narednoj 2026. godini.

Sretan Božić i nova 2026. godina!

Predsjednik Radnog predsjedništva Darko Posarić otvorio je raspravu o izvješću predsjednika HŠD. Za raspravu se nitko nije javio te je izvješće dao na glasanje.

Izvješće predsjednika o radu HŠD od prethodne sjednice Skupštine HŠD jednoglasno je usvojeno.

b) Izvješće Glavnog urednika Šumarskog lista

Glavna urednica Šumarskog lista prof. dr. sc. Marilena Idžojić podnijela je izvješće o Šumarskom listu u 2025. godini s većim osvrtnom od broja 7-8/2025 kad je službeno preuzela mjesto glavne urednice:

7. veljače 2025. godine održan je sastanak predsjednika i tajnika Hrvatskog šumarskog društva, Uredničkog odbora Šumarskog lista, Hrvatske komore inženjera šumarstva i drvne tehnologije i Hrvatskih šuma d. o. o.; glavna urednica i tehnički urednik predstavili su prijedloge za sadržajno, tehničko i organizacijsko unaprjeđenje časopisa.

29. svibnja 2025. godine održana je prezentacija časopisa Šumarski list na Fakultetu šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, a 8. rujna 2025. godine na Hrvatskom šumarskom institutu. Prezentacije su bile namijenjene znanstvenicima kao podsjetnik na tradiciju koju Šumarski list baštini, njegove vrijednosti za našu struku i indeksiranost u najvažnijim svjetskim bazama. Također su naglašene prednosti i mogućnosti koje časopis nudi za objavljivanje članaka kao i mogućnosti za unaprjeđenje časopisa.

Tehnički urednik, Branko Meštrić, dipl. ing. šum., osigurao je preko Nacionalne i sveučilišne knjižnice korištenje programa *iThenticate* za provjeru plagijata. Svi pristigli rukopisi provjeravaju se odmah nakon prijave.

Od broja 7-8/2025:

Donesene su nove Upute za autore.

Definirano je da se članci objavljuju iz područja šumarstva, urbanog šumarstva i zaštite prirode, s geografskim naglaskom na Europu i Mediteran.

Članci se objavljuju na engleskom jeziku ili na hrvatskom jeziku uz prošireni sažetak, ključne riječi, naslov i opis priloga na engleskom jeziku.

Od broja 9-10/2025:

Nova rubrika „Iznimna stabla naših šuma“, u kojoj želimo predstaviti pojedinačna stabla u našim šumama koja se ističu visinom, promjerom debla, volumenom, dobi, habitusom, kvalitetom debla, rijetkom pojavom, posebnim nalazištem ili nekim drugim posebnim obilježjem. Čitatelji su pozvani da se uključe u kreiranje ove rubrike i pošalju fotografije i detaljan opis takvih stabala. U broju 9-10 predstavljen je hrast lužnjak u prašumi Prašnik; autori su akademik Igor Anić (idejni začetnik rubrike), prof. dr. sc. Vinko Paulić i dr. sc. Domagoj Trlin. U broju 11-12 predstavljena je „Jela Car“ iz Begovače u Lici; autorice su mr. sc. Mandica Dasović i Antonija Jurković Tomac.

Do podnošenja Izvješća u online i tiskanom obliku zadnji je objavljen broj 9-10, a za broj 11-12 objavljena je verzija online first (znanstveni, pregledni i stručni radovi na web-u), a cjelovita tiskana verzija je u tisku.

Najveći izazov je nedostatak kvalitetnih znanstvenih, preglednih i stručnih radova, uz značajan broj odbijenih radova. Člancima su popunjeni brojevi 1-2 i 3-4, a popunjavamo broj 5-6/2026.

Od broja 1-2/2026:

Planirana je promjena izgleda časopisa.

Planirano je proširenje Uredničkog odbora. Prijedlog je da članovi Uredničkog odbora iz Hrvatske u časopisu budu navedeni abecednim redoslijedom prezimena, uz navođenje institucije u kojoj rade, bez navođenja znanstveno-stručnih područja (popis predloženih članova nalazi se u Privitku 1. ovome Izvješću). Većina članova iz Hrvatske i do sada su bili članovi Uredničkog odbora. Također, članovi Uredničkog odbora iz inozemstva bili bi posebno navedeni, prema abecednom redoslijedu prezimena, uz navođenje institucije u kojoj rade (popis predloženih članova nalazi se u Privitku 2. ovome Izvješću). Planirano je uspostavljanje Savjetodavnog odbora, čiji bi članovi bili umirovljenici (popis predloženih članova nalazi se u Privitku 3. ovome Izvješću).

Predsjednik Radnog predsjedništva Darko Posarić otvorio je raspravu o izvješću glavne urednice Šumarskog lista. Osobno je podržao najavljenju promjenu izgleda časopisa. Za raspravu se nitko nije javio te je izvješće dao na glasanje.

Izvješće glavne urednice Šumarskog lista jednoglasno je usvojeno.

Ad 3. Rebalans financijskog plana HŠD za 2025. godinu

a) Rebalans financijskog plana za 2025. godinu

Rebalans financijskog plana za 2025. godinu poslan je delegatima Skupštine u prilogu poziva, a dodatno ga je pojašnila voditeljica računovodstveno-financijskih poslova HŠD Biserka Marković, dipl. oec. Rebalans plana usvojen je na 2. sjednici Upravnog odbora HŠD 2025. godine i sastavni je dio zapisnika sjednice objavljenog u Šumarskom listu broj 11-12/2025.

Predsjednik Radnog predsjedništva Darko Posarić otvorio je raspravu o rebalansu financijskog plana za 2025. godinu. Predsjednik HŠD Igor Anić zatražio je pojašnjenje pojma i iznosa reprezentacije. Voditeljica računovodstveno-financijskih poslova HŠD Biserka Marković objasnila je da reprezentaciju čine sve stavke vezane za hranu i piće,

a promidžbu sve stavke s logom HŠD. Nakon pojašnjenja predsjednik Radnog predsjedništva Darko Posarić rebalans financijskog plana za 2025. godinu dao je na glasanje.

Rebalans financijskog plana HŠD za 2025. godinu jednoglasno je usvojen.

b) Samoprocjena za 2025. godinu

Samoprocjena za 2025. godinu (upitnik o funkcioniranju sustava financijskog upravljanja i kontrola u 2025. godini) poslana je delegatima Skupštine u prilogu poziva. Voditeljica računovodstveno-financijskih poslova HŠD Biserka Marković dodala je kako je samoprocjena zakonska obveza.

Predsjednik Radnog predsjedništva Darko Posarić otvorio je raspravu o samoprocjeni za 2025. godinu. Za raspravu se nitko nije javio te je samoprocjenu za 2025. godinu dao na glasanje.

Samoprocjena za 2025. godinu jednoglasno je usvojena.

c) Povjerenstvo za popis imovine i potraživanja na dan 31. 12. 2025.

Povjerenstvo za popis imovine i potraživanja na dan 31. 12. 2025. poslano je delegatima Skupštine u prilogu poziva. Prijedlog Povjerenstva pročitao je tajnik HŠD Oliver Vlainić.

Povjerenstvo za popis imovine i potraživanja HŠD na dan 31. 12. 2025. u sastavu:

Mr. sc. Damir Delač, dipl. ing. šum. – predsjednik

Igor Tijardović, dipl. ing. šum. – član

Ana Žnidarec – članica

Dorica Matešić, dipl. ing. šum. – zamjenica člana

Predsjednik Radnog predsjedništva Darko Posarić otvorio je raspravu o Povjerenstvu za popis imovine i potraživanja na dan 31. 12. 2025. Za raspravu se nitko nije javio te je izbor Povjerenstva za popis imovine i potraživanja na dan 31. 12. 2025. dao na glasanje.

Povjerenstvo za popis imovine i potraživanja na dan 31. 12. 2025. jednoglasno je izabrano.

Ad 4. Program rada i financijski plan za 2026. godinu

a) Program rada za 2026. godinu

Predsjednik HŠD Igor Anić prezentirao je program rada HŠD za 2026. godinu. Program rada HŠD za 2026. godinu dostavljen je članovima Skupštine prije sjednice. Na dostavljeni prijedlog nije bilo primjedbi. Program rada usvojen je na 2. sjednici Upravnog odbora HŠD 2025. godine i sastavni je dio zapisnika sjednice objavljenog u Šumarskom listu broj 11-12/2025.



Predsjednik Radnog predsjedništva Darko Posarić otvorio je raspravu o programu rada HŠD za 2026. godinu. Za raspravu se nitko nije javio te je program rada HŠD za 2026. godinu dao na glasanje.

Program rada HŠD za 2026. godinu jednoglasno je usvojen.

b) Financijski plan za 2026. godinu

Voditeljica računovodstveno-financijskih poslova Biserka Marković prezentirala je financijski plan HŠD za 2026. godinu. Financijski plan HŠD za 2026. godinu dostavljen je članovima Skupštine prije sjednice. Na dostavljeni prijedlog nije bilo primjedbi. Plan je usvojen na 2. sjednici Upravnog odbora HŠD 2025. godine i sastavni je dio zapisnika sjednice objavljenog u Šumarskom listu broj 11-12/2025.

Predsjednik Radnog predsjedništva Darko Posarić otvorio je raspravu o financijskom planu HŠD za 2026. godinu. Za raspravu se nitko nije javio te je financijski plan HŠD za 2026. godinu dao na glasanje.

Financijski plan HŠD za 2026. godinu jednoglasno je usvojen.

Ad 5. Slobodna riječ

Prof. dr. sc. Marijan Grubešić u ime Akademije šumarske znanosti izrazio je zadovoljstvo radom HŠD. Želi istaknuti tri stvari: 1. Smatra da je šumarstvo medijski dosta zane-mareno. Valja osmisliti kako probiti medijsku blokadu.; 2. Bez obzira na novu odgodu EUDR procedure smatra da hrvatsko šumarstvo ima problem s EU šumarskom terminologijom koja mlade sastojine tretira kao šikare.; 3. Šumarstvo treba

zauzeti stav i prezentirati ga javnosti kako bi se spriječila moguća devastacija šuma. Smatra da članci 39. (Krčenje šuma) i 51. (Izdvajanje šume i šumskog zemljišta i osnivanje prava građenja) Zakona o šumama omogućavaju pretjerani ulazak u prostor šuma.

Voditeljica računovodstveno-financijskih poslova Biserka Marković informirala je članove Skupštine o početku fiskalizacije poslovanja HŠD od 1. siječnja 2026. Vezano za to Skupština treba usvojiti Odluku o pravilima slijednosti numeričkih brojeva računa, o poslovnom prostoru, oznaci poslovnog prostora i operatera na naplatnom uređaju. Odluka je već usvojena na 2. sjednici Upravnog odbora HŠD. Predsjednik Radnog predsjedništva Darko Posarić navedenu Odluku dao je na glasanje.

Odluka o pravilima slijednosti numeričkih brojeva računa, o poslovnom prostoru, oznaci poslovnog prostora i operatera na naplatnom uređaju jednoglasno je usvojena.

Predsjednik Radnog predsjedništva Darko Posarić zahvalio se članovima skupštine na sudjelovanju te im zaželio Sretan Božić i novu 2026. godinu.

Sjednica Skupštine završila je u 12:40.

Nakon sjednice Skupštine sudionici su se uputili u Šumarski dom na Trgu Mažuranića 11, Zagreb gdje je obavljeno fotografiranje članova Skupštine sa zgradom Doma u pozadini. Okupljanje je završilo domjenkom i druženjem u prostorijama Doma.

Zapisničar

Oliver Vlanić, dipl. ing. šum.



Predsjednik HŠD:

akademik Igor Anić

Ovjerovitelji zapisnika:

Izv. prof. dr. sc. Dinko Vusić

Ninoslav Matošević, dipl. ing. šum.



Članovi Upravnog odbora HŠD u Šumarskom domu



Članovi 129. Skupštine HŠD ispred Šumarskog doma



Foto: Proleksis enciklopedija LZMK

Ivo Čeović

4. 2. 1886. – 14. 11. 1971.

140 godina od rođenja i 55 godina od smrti

Marijan Grubešić

Sveučilište u Zagrebu Fakultet šumarstva i drvne tehnologije

Brojne su obljetnice kojima se u protekloj i ovoj godini obilježava duga tradicija šumarstva u Hrvatskoj. Neke obljetnice posvećene su značajnim događajima, a neke značajnim osobama.

Pored 260 godina organiziranog šumarstva na području Hrvatske, ove godine obilježavamo 180 godina postojanja i rada Hrvatskog šumarskog društva te 150 godina izlaska Šumarskog lista koji pripada među prvake tiskanih glasila sa šumarskom tematikom na području Europe, a posebno značenje ima za šumarsku struku u Hrvatskoj sve do današnjih dana.

Ti događaji vezani su i za istaknute ličnosti toga doba, a čija imena su ostala velikim slovima upisana u povijesne podatke šumarske i lovne znanosti, struke i operative.

Među brojnim šumarskim velikanima ističe se ime inženjera **Ive Čeovića**, poznatog šumara, a napose lovnog stručnjaka.

Ivo Čeović rođen je prije 140 godina u Gornjim Andrijevcima. Osnovnu školu pohađa u Rajevu Selu, a gimnaziju je završio 1905. godine u Vinkovcima. Šumarstvo je studirao na Visokoj školi za kulturu tla u Beču (BOKU) i na Šumarskoj akademiji u Zagrebu, gdje je 1908. diplomirao. Od 1908. do 1920. službuje u Đurđevačkoj imovnoj općini na taksaciji u Bjelovaru, potom kao upravitelj šumarija u Novoj Rači i Goli. U Zagrebu je 1920. godine imenovan za kotarskoga šumarskog referenta. Od 1940. godine zaposlen je u Bansknoj upravi Banovine Hrvatske te je radio u Ministarstvu šumarstva i rudarstva, odnosno Sekretarijatu za šumarstvo sve do umirovljenja 1950. godine.

Bio je vrlo aktivan u svim sferama šumarstva, pa je kao član Jugoslavenskog šumarskog udruženja obnašao dužnosti tajnika i blagajnika od 1923. do 1927. godine te u kratkom razdoblju i urednika Šumarskog lista.

Ivo Čeović nakon umirovljenja 1950. godine predaje kao honorarni nastavnik na tadašnjem Poljoprivredno-šumarskom fakultetu, gdje je iz područja lovstva educirao brojne studente i buduće stručnjake. Kroz njegovu edukaciju iz predmeta Lovna privreda u razdoblju akademske godine 1949/50. – 1959/60. prošlo je 536 studenata, od kojih su se

mnogi kasnije prikazali kroz znanstvene i stručne rezultate kao izvrsni lovni stručnjaci.

Jedan je od osnivača Saveza lovačkih društava Hrvatske i Slavonije 1925. godine te njegov prvi tajnik sve do 1939. godine (19 godina).

Funkciju urednika Lovačko-ribarskog vjesnika obnašao je od 1940. do 1945., tako da je uspješno održao izdavanje časopisa unatoč vihoru Drugog svjetskog rata.

Od 1945. godine prvi je suradnik Lovnog odsjeka Instituta za šumarska i lovna istraživanja NR Hrvatske (današnji Hrvatski šumarski institut).

Godine 1952. bio je proglašen doživotnim počasnim predsjednikom Hrvatskog društva za gajenje lova i ribarstva.

Bio je izuzetno plodan pisac stručne literature i članaka od kojih su neki objavljeni u Šumarskom listu, a osobito veliki broj članaka u Lovačko-ribarskom vjesniku (danas Lovački vjesnik koji izlazi od 1892. godine). Za lovačku struku i obrazovanje lovaca napisao je dva izdanja priručnika **Lovstvo**. Prvo izdanje objavljeno je 1940. godine, a drugo 1953. godine u izdanju Lovačke knjige u Zagrebu. Pored ta dva priručnika, koji su dugo ostali temeljna literatura u izobrazbi šumara i lovaca, napisao je monografiju **Fazan** te potom priručnik **Tragovi divljači**.

Veliki doprinos edukaciji lovaca dao je literaturom za polaganje ispita kroz **Lov u pitanjima i odgovorima** te **Priručnik za lovce i čuvare lova** (izdanja 1931., 1932. i 1933. godine).

Detaljni pregled pisanih djela i članaka prikazan je na web-stranici Hrvatskog šumarskog društva (<https://www.sumari.hr/sumari/kart.asp?id=9077>).

U Bibliografiji Lovačko-ribarskog vjesnika, autora Alojzija Frkovića iz 1993. godine, navodi se čak 121 tekst autora Ive Čeovića, od kojih je više od 50 stručnih članaka, dok su ostali informativnog karaktera. Tu su, osim stručnih radova, izvješća o radu udruge, osvrti na aktualnu problematiku, osvrti na izložbe, prikazi novoobjavljene literature i ostale lovačke teme.

Dinamika objavljivanja radova prikazana je u članku objavljenom u Šumarskom listu broj 1-2 iz 2011. godine, autora

Kristijana Tomljanovića pod naslovom „125. godišnjica rođenja ing. Ive Čevića“.

Doprinos razvoju lovstva Ive Čevića, a osobito podizanje razine obrazovanja kroz desetogodišnje razdoblje rada na Poljoprivredno-šumarskom fakultetu, osjeća se u stručnim i znanstvenim krugovima sve do danas.

Osobito su vrijedni njegovi pisani „tragovi“. Ne samo tragovi divljači nego i priručnici, udžbenici, monografije i brojni tekstovi, s tada ali i danas aktualnom tematikom. Tekstovi u Lovačko-ribarskom vjesniku bili su aktualna pitanja i odgovori vezani za lovno gospodarenje.

Osim u Lovačko-ribarskom vjesniku i Šumarskom listu objavljivao je članke i u drugim stručnim tiskovinama kao što su Lovac, Lovački glasnik, Zelena pošta, Glasnik zajednice za perad i divljač, Gospodarstvo, Hrvatski radiša, Šumarski priručnik, Mali šumarsko-tehnički priručnik i Šumarska enciklopedija.

Jedan je od pionira hrvatskoga dokumentarnog filma jer je između 1936. i 1940. godine snimio više filmova iz područja lovstva.

Ostavština stručne lovačke literature i danas je aktualna te se primjenjuje u edukaciji mladih stručnjaka od koji se neki profesionalno bave lovstvom ili obnašaju dužnosti vezane za to područje kao što su voditelji upravnih odjela na županijama, djelatnici resornih ministarstava, državnog inspektorata, ovlašteni inženjeri šumarstva za lovstvo te vlasnici privatnih tvrtki ili obrta koji su usmjereni na domenu lovstva.

Marljivost i trud Ive Čevića vidljivi su i danas na Fakultetu šumarstva i drvne tehnologije, gdje je u nasljeđe ostavio bogatu domaću i stranu lovačku literaturu koju je prikupljao, kao i preparate, trofeje i ostala edukativna sredstva za praktičnu nastavu, odnosno vježbe studenata. Time je ostavio trag i trajnu uspomenu na svoj desetogodišnji marljivi rad na tadašnjem Poljoprivredno-šumarskom fakultetu.





Stjepan Šlat, dipl. ing. šum.

18. 4. 1943. – 23. 1. 2026.

Nakon duge i teške bolesti 23. siječnja 2026., u 83. godini života, zauvijek nas je napustio gosp. Stjepan Šlat, dipl. ing. šumarstva, dugogodišnji nastavnik i ravnatelj Šumarske i drvodjeljske škole Karlovac.

Rođen je 18. travnja 1943. u Generalskom Stolu kraj Karlovca kao sin Ivana i Ane rođ. Halar. Osnovnu školu završio je u Ogulinu 1958. godine, a Šumarsku školu u Karlovcu 1962. godine. Studij šumarstva apsolvirao je 1966./1967., a diplomirao 9. lipnja 1969. na Šumskogospodarskom odjelu Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Nakon diplomiranja zaposlio se u Komercijalnoj službi DIP-a Delnice. Od školske godine 1973./1974. do 2000. godine radio je kao predavač stručnih predmeta šumarske struke u Šumarskoj školi Karlovac. Njegov glavni nastavni predmet bio je iskorišćivanje šuma, iz kojeg je izradio više skripti. Istaknuo se kao inicijator i organizator provođenja državnih natjecanja učenika šumarskih tehničara.

Uz nastavnički rad obnašao je dužnosti voditelja smjene i voditelja obrazovanja odraslih, a od 2000. godine pa sve do umirovljenja 2008. godine bio je ravnatelj Šumarske i drvodjeljske škole Karlovac. Godine 2004. imenovan je članom stručnog povjerenstva za izradu okvirnog nastavnog plana i programa za zanimanje šumarski tehničar.

Bio je aktivni sudionik Domovinskog rata. U Hrvatskom šumarskom društvu bio je dugogodišnji član, a od 1981. do 1984. godine i član Predsjedništva tadašnjeg Saveza inženjera i tehničara šumarstva i drvne industrije Hrvatske. Na

njegov prijedlog iz 2006. godine odana je počast nekadašnjem direktoru prof. Jurju Lipovščaku, zaslužnom za ostatak šumarske škole u Karlovcu, te je 2018. godine u arboretumu Šumarske i drvodjeljske škole otvorena šetnica Jurja Lipovščaka koja vodi do ulaza u samu školu.

Generacije učenika, roditelja, učitelja, djelatnika škole i kolega šumara pamtit će prof. Šlata kao iskrenog, vedrog i toplog čovjeka, odgovornog pedagoga s empatijom za učenike.

Bio je brižan i odan suprug, dobar prijatelj, uvijek spreman za zajednička druženja.

Značajan doprinos dao je i kao suradnik pri radu na Hrvatskom šumarskom životopisnom leksikonu, osobito pri prikupljanju podataka o bivšim učenicima Šumarske škole u Karlovcu. Njegova je pomoć znatno pridonijela kvaliteti toga izdanja, na čemu mu je Uredništvo odalo posebno priznanje i zahvalnost.

S tugom i poštovanjem opraštamo se od našeg dragog kolege šumara i profesora, čovjeka koji je ljubav prema šumi pretočio u znanje, a znanje nesebično dijelio generacijama koje je podučavao. Njegova predanost prirodi, mudrost i ljudska toplina ostavili su neizbrisiv trag u našoj struci i u srcima svih koji su ga poznavali.

U tišini šuma koje je volio i među stazama kojima je hodao, živjet će trajna uspomena na njegov rad, skromnost, dobrotu i plemenitost.

Djelatnici Šumarske i drvodjeljske škole Karlovac

Članovi HŠD-a Ogranka Karlovac

UPUTE AUTORIMA

Rukopisi se trebaju predati putem Open Journal System (OJS), na poveznici: <https://sumlist.online>

Objavlivanje članaka je besplatno.

Znanstveni i stručni radovi moraju se predati na 1) engleskom ili 2) hrvatskom jeziku s proširenim sažetkom (do 1000 riječi; ističe cilj, rezultate i zaključak rada; s navedenim svim tablicama, slikama i dodatcima) i ključnim riječima na engleskom jeziku. Ako je rad na hrvatskom jeziku, svi naslovi, podnaslovi, legende i ostali tekst u slikama i tablicama moraju biti dvojezični. Predani rukopisi smiju sadržavati najviše 15 jednostranih A4 listova, uključujući tablice, slike, reference i sve dodatke. Dulje radove treba odobriti urednik. Velike tablice i slike mogu se objaviti kao dodatni materijali u elektroničkoj, ali ne u tiskanoj verziji časopisa. Rukopis treba pripremiti kao Word dokument (docx format), s jednostrukim proredom i fontom veličine 12, bez dodatnog uređivanja teksta. Naslovna stranica treba sadržavati: 1) puni naslov (do 120 znakova ne uključujući razmake); 2) imena (puna imena i prezimena), institucije i adrese e-pošte svih autora, s naznakom dopisnog autora; 3) sažetak (do 350 riječi; ističe cilj, rezultate i zaključak rada); 4) ključne riječi (do osam, abecednim redom) i 5) prijedlog imena, prezimena, institucije i adrese e-pošte triju potencijalnih recenzentata.

Relevantne reference u tekstu treba navesti imenom i godinom, npr. (Heinze 1998), (Kremer i Hipp 2020; Cristiano i dr. 2023a, 2023b), (Kremer i Hipp 2020, Cristiano i dr. 2023a), Heinze (1998), Kremer i Hipp (2020), Cristiano i dr. (2023a, 2023b). Neobjavljeni rezultati i osobna komunikacija ne smiju biti u popisu literature, ali se mogu spomenuti u tekstu. Navođenje reference kao „u tisku” podrazumijeva da je članak prihvaćen za objavljivanje. Svaka referenca navedena u tekstu treba biti navedena u popisu literature (i obrnuto). Autori su odgovorni za točnost navođenja referenci. U popisu literature prihvatljiva je literatura na hrvatskom, engleskom, španjolskom, francuskom, njemačkom i talijanskom jeziku. Za ostale jezike u zagradi treba navesti engleski prijevod reference. Kada je moguće treba navesti DOI brojeve (<http://www.doi.org>).

Reference treba navesti u sljedećem obliku:

Članci iz časopisa (navesti puni naziv časopisa):

Bertović, S., 1987: Reljef, podneblje i vegetacijski pokrov. Šumarski list 111 (7–8): 366–390.

Blanusa, T., M. Garratt, M. Cathcart-James, L. Hunt, R.W.F. Cameron, 2019: Urban hedges: A review of plant species and cultivars for ecosystem service delivery in north-west Europe. *Urban Forestry & Urban Greening* 40: 126391. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126391>

Knjige:

Pernar, N., 2017: Tlo – nastanak, značajke, gospodarenje. Sveučilište u Zagrebu Šumarski fakultet, Zagreb.

Foxcroft, L.C., P. Pyšek, D.M. Richardson, P. Genovesi (ur.), 2013: Plant invasions in protected areas: patterns, problems and challenges. Springer, Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7750-7>

Poglavlja iz knjige:

Forrest, M., C. Konijnendijk, 2005: A history of urban forests and trees in Europe. U (Konijnendijk, C., K. Nilsson, T. Randrup, J. Schipperijn, ur.): *Urban forests and trees*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 23–48. https://doi.org/10.1007/3-540-27684-X_3

Članci iz zbornika skupa:

Konijnendijk, C., 1992: Urban forestry and foresters. U (Hummel, J.A., M.P.E. Parren, ur.): *Forests: A growing concern. Proceedings of the XIXth International Forestry Students Symposium, Wageningen, The Netherlands, September 30–October 7, 1991*, pp. 33–37.

Doktorski radovi:

Vidaković, A., 2025: Morphological and genetic diversity of populations and chemical composition of fruits of European wild pear (*Pyrus pyraeaster* (L.) Burgsd.) and almond-leaved pear (*P. spinosa* Forssk.) in Croatia. Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu Fakultet šumarstva i drvene tehnologije, Zagreb.

Softver:

R. Core Team, 2022: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org>

Web stranice:

CABI, 2025: *Invasive Species Compendium*. Wallingford, UK: CAB International. <http://www.cabi.org/isc>

AUTHOR GUIDELINES

Manuscripts should be submitted using the Open Journal System (OJS): <https://sumlist.online>

Article publishing is free of charge.

The scientific and professional papers shall be submitted in 1) English or 2) Croatian with extended summary (up to 1000 words; highlighting the objective, results, and conclusion of the paper; all tables, figures and appendices should be referred to) and key words in English. If the paper is in Croatian, all titles, headings, legends and other text in figures and tables shall be presented bilingually. Other articles are generally published in Croatian. Submitted manuscripts shall consist of no more than 15 single-sided A4 sheets, including tables, figures and references and all appendices. Longer papers should be approved by the editor. Large tables and figures can be published as supplementary materials online, but not in the printed version. The manuscript should be submitted as a Word document (docx format), using Times New Roman font, with single spacing and font size 12, without additional text editing. The title page should contain: 1) full title (should not exceed 120 characters without spaces); 2) names of all authors (name and surname in full), their institutional affiliations and e-mail addresses, with indication of the corresponding author; 3) summary (up to 350 words; highlights the objective, results, and conclusion of the paper); 4) keywords (up to eight, in alphabetical order); and 5) proposal of names, surnames, institutional affiliations and e-mail addresses of three potential reviewers.

Cite relevant references in the text by name and year, e.g. (Heinze 1998), (Kremer and Hipp 2020; Cristiano et al. 2023a, 2023b), (Kremer and Hipp 2020, Cristiano et al. 2023a), Heinze (1998), Kremer and Hipp (2020), Cristiano et al. (2023a, 2023b). Unpublished results and personal communications should not be in the reference list, but may be mentioned in the text. Citation of a reference as “in press” implies that the item has been accepted for publication. Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Responsibility for the accuracy of reference citations lies entirely with the authors. The articles in Croatian, English, Spanish, French, German and Italian are accepted in the Reference list. For any other language, please provide the English translation in parentheses. Please provide DOI numbers wherever is possible (<http://www.doi.org>).

Use the following formats for Reference list style:

Journal articles (please note that the names of journals should be given in full): Bertović, S., 1987: Reljef, podneblje i vegetacijski pokrov. *Šumarski list* 111 (7–8): 366–390.

Blanusa, T., M. Garratt, M. Cathcart-James, L. Hunt, R.W.F. Cameron, 2019: Urban hedges: A review of plant species and cultivars for ecosystem service delivery in north-west Europe. *Urban Forestry & Urban Greening* 40: 126391. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126391>

Books:

Pernar, N., 2017: *Tlo – nastanak, značajke, gospodarenje*. Sveučilište u Zagrebu Šumarski fakultet, Zagreb.

Foxcroft, L.C., P. Pyšek, D.M. Richardson, P. Genovesi (eds.), 2013: *Plant invasions in protected areas: patterns, problems and challenges*. Springer, Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7750-7>

Chapters in a book:

Forrest, M., C. Konijnendijk, 2005: A history of urban forests and trees in Europe. In (Konijnendijk, C., K. Nilsson, T. Randrup, J. Schipperijn, eds.): *Urban forests and trees*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 23–48. https://doi.org/10.1007/3-540-27684-X_3

Conference proceedings papers:

Konijnendijk, C., 1992: Urban forestry and foresters. In (Hummel, J.A., M.P.E. Parren, eds.): *Forests: A growing concern. Proceedings of the XIXth International Forestry Students Symposium, Wageningen, The Netherlands, September 30–October 7, 1991*, pp. 33–37.

Theses:

Vidaković, A., 2025: Morphological and genetic diversity of populations and chemical composition of fruits of European wild pear (*Pyrus pyraeaster* (L.) Burgsd.) and almond-leaved pear (*P. spinosa* Forssk.) in Croatia. PhD Thesis, University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology, Zagreb, Croatia.

Software:

R. Core Team, 2022: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org>

Websites:

CABI, 2025: *Invasive Species Compendium*. Wallingford, UK: CAB International. <http://www.cabi.org/isc>



Slika 1. Habitus tilovine ljeti.

Figure 1 Dalmatian laburnum habit in summer.



Slika 2. Liske su duguljasto-eliptične, zaobljenog ili tupog vrha, cijelog ruba, 1,5 – 2,5 cm dugačke; peteljka je 2 – 5 cm dugačka.

Figure 2 Leaflets are oblong-elliptic, rounded or obtuse at apex, with entire margins, 1.5–2.5 cm long; petiole is 2–5 cm long.

Petteria ramentacea (Sieber) C.Presl

Tilovina, tila (Fabaceae)

Petteria C.Presl je monotipski rod (samo s jednom vrstom) iz porodice Fabaceae. Rod je dobio naziv u čast austrijskom botaničaru i profesoru koji je radio u Dalmaciji, Franzu Petteru (Waidhofen na Ybbsu, 1789. – Kotor, 1853.). Tilovina, *Petteria ramentacea*, je uspravni, listopadni, do 2 (3) m visoki grm. Endemična je vrsta u jugoistočnoj Europi i autohtona vrsta u Hrvatskoj (u južnoj Dalmaciji). Listovi su naizmjenično raspoređeni i troliskavi. Više cvjetova zajedno skupljeno je u vršnim, 4 – 8 cm dugačkim, uspravnim, gustim grozdovima. Cvjeta u travnju i svibnju (lipnju), nakon listanja. Plodovi su 4 – 5 cm dugačke mahune. Tilovina se u Hrvatskoj ne sadi kao ukrasna vrsta. Radi značajne ukrasne vrijednosti, tolerantnosti na sušu i kamenita tla, kao i fiksacije dušika, bilo bi ju dobro unijeti u uzgoj.

Dalmatian Laburnum (Fabaceae)

Petteria C.Presl is a monotypic genus (with only one species) of the family Fabaceae, named in honor of an Austrian botanist and professor in Dalmatia, Franz Petter (Waidhofen on Ybbs, 1789 – Kotor, 1853). Dalmatian laburnum, *Petteria ramentacea*, is an upright, deciduous shrub that grows up to 2 (3) m tall. It is an endemic species to southeastern Europe and indigenous in Croatia (in southern Dalmatia). The leaves are alternate and trifoliate. The flowers are in terminal, many-flowered, erect, dense, 4–8 cm long racemes. It flowers from April to May (June), after leafing. The fruits are 4–5 cm long legumes. Dalmatian laburnum is not grown as an ornamental plant in Croatia. Due to its significant ornamental value and tolerance to drought and rocky soils, as well as nitrogen fixation, it would be interesting to introduce it into cultivation.

Tekst i fotografije: prof. dr. sc. Marilena Idžojić



Slika 3. Cvjetovi su dvospolni, entomofilni, ukrasni, mirisni, žuti, 2 cm dugački.

Figure 3 Flowers are bisexual, entomophilous, conspicuous, fragrant, yellow, 2 cm long.

Slika 4. Mahune su duguljaste, plosnate, ravne, smeđe, gole, 4–5 cm dugačke, 1 cm široke; dozrijevaju u srpnju, dugo ostaju.

Figure 4 Legumes are oblong, flattened, straight, brown, glabrous, 4–5 cm long, 1 cm wide; maturing in July, long persistent.

