

ŠUMARSKI LIST

HRVATSKO ŠUMARSKO DRUŠTVO



UDC 630*
ISSN 0373-1332



AKADEMIJA
ŠUMARSKIH
ZNANOSTI
30 godina

7-8

GODINA CXLIX
Zagreb
2025



HRVATSKO ŠUMARSKO DRUŠTVO

179. godina djelovanja
19 ogranaka diljem Hrvatske
oko 2800 članova



IMENIK HRVATSKIH ŠUMARA

14057 osoba
22436 biografskih činjenica
14836 bibliografskih jedinica

ŠUMARSKI LIST

149. godina neprekidnog izlaženja
1125 svezaka na 86604 stranica
16480 članaka od 3492 autora

DIGITALNA ŠUMARSKA BIBLIOTEKA

4497 naslova knjiga, časopisa i medija
na 26 jezika od 3185 autora
izdanja od 1732. do danas



Naslovna stranica – Front page:

30 godina Akademije šumarskih znanosti – prvi predsjednik Akademije akademik Slavko Matić i prvi tajnik Akademije prof. Branimir Prpić (arhiva HŠD)
30 years of the Academy of Forestry Sciences – the first president of the Academy, academician Slavko Matić and the first secretary prof. Branimir Prpić (HŠD Archive)

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 – Journal of forestry Online
Prijava radova – Manuscript submission

<https://www.sumari.hr/sumlist>

Izdavač:
HRVATSKO ŠUMARSKO DRUŠTVO

Publisher:
CROATIAN FORESTRY SOCIETY

Suizdavač:
Hrvatska komora inženjera šumarstva i drvne tehnologije
Financijska pomoć Ministarstva znanosti, obrazovanja i mladih

Grafička priprema: Branko Meštrić

Tisak: CBprint – Samobor

Naklada 1660 primjeraka

ŠUMARSKI LIST

Znanstveno-stručno i staleško glasilo Hrvatskoga šumarskog društva
Journal of the Forestry Society of Croatia – Zeitschrift des Kroatischen Forstvereins
– Revue de la Societe forestiere Croate

Uređivački savjet – Editorial Council

- | | | |
|--|--|--------------------------------------|
| 1. Akademik Igor Anić | 13. Prof. dr. sc. Boris Hrašovec | 25. Krešimir Pavić, dipl. ing. šum. |
| 2. Emil Balint, dipl. ing. šum. | 14. Prof. dr. sc. Marilena Idžojtić | 26. Martina Pavičić, dipl. ing. šum. |
| 3. Mr. sc. Boris Belamarić | 15. Krešimir Jakupak, dipl. ing. šum. | 27. Doc. dr. sc. Sanja Perić |
| 4. Daniela Cetinjanin, dipl. ing. šum. | 16. Prof. dr. sc. Vladimir Jambrečević | 28. Darko Posarić, dipl. ing. šum. |
| 5. David Crnić, dipl. ing. šum. | 17. Marina Juratović, dipl. ing. šum. | 29. Ante Šimić, dipl. ing. šum. |
| 6. Mr. sp. Mandica Dasović | 18. Josip Kovačić, dipl. ing. šum. | 30. Prof. dr. sc. Ivica Tikvić |
| 7. Mr. sc. Damir Delač | 19. Ivan Krajačić, dipl. ing. šum. | 31. Mr. sc. Dalibor Tonc |
| 8. Damir Dramalija, dipl. ing. šum. | 20. Valentina Kulaš, dipl. ing. šum. | 32. Davor Topolnjak, dipl. ing. šum. |
| 9. Anto Glavaš, dipl. ing. šum. | 21. Dorica Matešić, dipl. ing. šum. | 33. Izv. prof. dr. sc. Dinko Vusić |
| 10. Goran Gobac, dipl. ing. šum. | 22. Izv. prof. dr. sc. Stjepan Mikac | 34. Silvija Zec, dipl. ing. šum. |
| 11. Mr. sc. Goran Gregurović | 23. Darko Mikičić, dipl. ing. šum. | 35. Dražen Zvirotić, dipl. ing. šum. |
| 12. Prof. dr. sc. Marijan Grubešić | 24. Damir Miškulin, dipl. ing. šum. | |

Urednički odbor po znanstveno-stručnim područjima – Editorial Board by scientific and professional fields

1. Šumski ekosustavi – Forest Ecosystems

Prof. emer. dr. sc. Joso Vukelić,

urednik područja – Field Editor

Šumarska fitocenologija – *Forest Phytocoenology*

Urednici znanstvenih grana – *Editors of scientific branches:*

Prof. dr. sc. Željko Škvorc,

Šumarska botanika – *Forest Botany*

Izv. prof. dr. sc. Krunoslav Sever,

Fiziologija šumskoga drveća – *Physiology of Forest Trees*

Izv. prof. dr. sc. Igor Poljak,

Dendrologija – *Dendrology*

Prof. dr. sc. Davorin Kajba,

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

Prof. dr. sc. Darko Bakšić,

Šumarska pedologija i ishrana šumskoga drveća – *Forest Pedology and Forest Tree Nutrition*

Prof. dr. sc. Marijan Grubešić,

Lovstvo – *Hunting Management*

2. Uzgajanje šuma i hortikultura – Silviculture and Horticulture

Akademik Igor Anić,

urednik područja – Field Editor

Silvikultura – *Silviculture*

Urednici znanstvenih grana – *Editors of scientific branches:*

Prof. dr. sc. Damir Ugarković,

Ekologija i biologija šuma, bioklimatologija – *Forest Ecology and Biology, Bioclimatology*

Doc. dr. sc. Sanja Perić,

Šumske kulture – *Forest Cultures*

Dr. sc. Vlado Topić,

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

Izv. prof. dr. sc. Stjepan Mikac,

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

Izv. prof. dr. sc. Vinko Paulić,

Urbane šume – *Urban Forests*

Prof. dr. sc. Ivica Tikvić,

Opća i krajobrazna ekologija, općekorisne funkcije šuma – *General and landscape ecology, Non-Wood Forest Functions*

Izv. prof. dr. sc. Damir Drvodelić,

Sjemenarstvo i rasadničarstvo – *Seed Production and Nursery Production*

Prof. dr. sc. Damir Barčić,

Zaštićeni objekti prirode, Hortikultura – *Protected Nature Sites, Horticulture*

3. Iskorištavanje šuma – Forest Harvesting

Prof. dr. sc. Tomislav Poršinsky,

Urednik područja – Field Editor

Urednici znanstvenih grana – *Editors of scientific branches:*

Prof. dr. sc. Tibor Pentek,

Šumske prometnice – *Forest Roads*

Prof. dr. sc. Dubravko Horvat,

Mehanizacija u šumarstvu – *Mechanization in Forestry*

Prof. dr. sc. Tomislav Sinković,

Nauka o drvu, Tehnologija drva – *WoodScience, Wood Technology*

4. Zaštita šuma – Forest Protection

Prof. dr. sc. Boris Hrašovec,
urednik područja – Field Editor

Fitofarmacija u zaštiti šuma – *Plant protection products in forestry*

Urednici znanstvenih grana – *Editors of scientific branches:*

Prof. dr. sc. Milan Glavaš,
Integralna zaštita šuma – *Integral Forest Protection*

Prof. dr. sc. Danko Diminić,
Šumarska fitopatologija – *Forest Phytopathology*

Dr. sc. Milan Pernek,
Šumarska entomologija – *Forest Entomology*

Prof. dr. sc. Josip Margaletić,
Zaštita od sisavaca (mammalia) – *Protection Against Mammals (mammalia)*

Mr. sc. Petar Jurjević,
Šumski požari – *Forest Fires*

5. Izmjera i kartiranje šuma – Forest Mensuration and Mapping

Prof. dr. sc. Ante Seletković,
urednik područja – Field Editor

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

Urednici znanstvenih grana – *Editors of scientific branches:*

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*

6. Uređivanje šuma i šumarska politika – Forest Management and Forest Policy

Izv. prof. dr. sc. Krunoslav Teslak,
urednik područja – Field Editor
Uređivanje šuma – *Theory of Forest Management*

Urednici znanstvenih grana – *Editors of scientific branches:*

Prof. dr. sc. Stjepan Posavec,
Šumarska ekonomika i marketing u šumarstvu – *Forest Economics and Marketing in Forestry*

Prof. dr. sc. Ivan Martinić,
Šumarska politika i management – *Forest policy and management*

Branko Meštrić, dipl. ing. šum.,
Informatika u šumarstvu – *Informatics in Forestry*

Oliver Vlanić, dipl. ing. šum.,
Staleške vijesti, bibliografija, šumarsko zakonodavstvo, povijest šumarstva – *Forest-Related News, Bibliography, Forest Legislation, History of Forestry*

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

Prof. dr. sc. Vladimir Beus, Bosna i Hercegovina – *Bosnia and Herzegovina*

Doc. dr. sc. Boštjan Košir, Slovenija – *Slovenia*

Prof. dr. sc. Milan Saniga, Slovačka – *Slovakia*

Doc. dr. sc. Radek Pokorný, Češka – *Czechia*

Prof. dr. sc. Maja Jurc, Slovenija – *Slovenia*

Glavna i odgovorna urednica – Editor-in-Chief

Prof. dr. sc. Marilena Idžojtić

Lektori – Lectors

Dijana Sekulić - Blažina, Nina Bađun

Korektor – Proofreader

Oliver Vlanić

Tehnički urednik i grafička priprema – Technical Editor and Graphic design

Branko Meštrić

Znanstveni članci podliježu međunarodnoj recenziji. Recenzenti su doktori šumarskih 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 znanstvenih časopisa Republike Hrvatske (Hrčak) i dr.

Scientific articles are subject to international peer review. Reviewers are doctors of forestry sciences in Croatia and other countries, at the decision of the Editorial Board.

Based on the opinion of the Ministry of Science, Education and Youth of the Republic of Croatia, “Forestry Journal” is classified as a scientific magazine.

Articles are abstracted by or indexed in: Science Citation Index Expanded, CAB Abstracts, Forestry Abstracts, Agricola, Pascal, Ge base, SCOPUS, Portal of scientific journal of Croatia (Hrčak) et al.

SADRŽAJ

CONTENTS

Riječ uredništva – Editorial

Šumarija – osnovna organizacijska jedinica šumarstva – Forest office – basic organizational unit of forestry..... 317

Izvorni znanstveni članci – Original scientific papers

<https://doi.org/10.31298/sl.149.7-8.1>

Krunoslav Sever, Filip Milaković, Antonia Vukmirović

Utjecaj suše na koncentraciju fotosintetskih pigmenata u lišću obične bukve i hrasta kitnjaka te povratnu kalibraciju klorofilmetra MC-100 – Impact of drought on photosynthetic pigments in leaves of common beech and sessile oak, as well as on return calibration of chlorophyll meter MC-100 319

<https://doi.org/10.31298/sl.149.7-8.2>

Matej Knežičić, Toni Spitz, Ivan Juraj Čehulić, Karlo Bukal, Kristijan Tomljanović

Ornitofauna prvog dobnog razreda šume hrasta lužnjaka srednje Posavine – Ornithofauna in the first age class of the pedunculate oak forest in Central Posavina 331

<https://doi.org/10.31298/sl.149.7-8.3>

Marina Škunca, Sanela Damjanović, Oleg Antonić

Presence of invasive alien vascular plant species in the selected Natura 2000 sites in Croatia 341

<https://doi.org/10.31298/sl.149.7-8.4>

Antonio Vidaković, Marijan Vuković, Ana Vuković, Matija Magdić, Valentina Gašparović, Igor Poljak

Evaluation of fruit and leaf morphological variability in bearberry (*Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng.) Dinaric Alps populations 353

<https://doi.org/10.31298/sl.149.7-8.5>

Dejan B. Stojanović, Tom Levanič, Srđan Stojić, Bratislav Matović, Lazar Pavlović, Vladimir Višicki, Bojan Tubić, Marko Marinković, Saša Orlović

Combining satellite time-series and tree growth data of Pedunculate oak, Turkey oak, European beech and Scots pine 365

Pregledni rad – Review paper

<https://doi.org/10.31298/sl.149.7-8.6>

Ivan Martinić, Anđela Antičević, Lara Zgrablić

Programi šumske pedagogije u Hrvatskoj – pristup evaluaciji i nalazi – The forest pedagogy programs in Croatia – evaluation approach and findings 375

Priča s naslovnice

Marijan Grubešić

Trideset godina Akademije šumarskih znanosti 385

Ne samo o šumama

Milan Glavaš

Medonosne biljke, značenje pčela i njihovih proizvoda 386

Znanstveni i stručni skupovi

Oliver Vlainić

Godišnji susret Pro Silve na Sardiniji 390

Hrvatsko šumarsko društvo

Oliver Vlainić

Ekскурzija Hrvatskoga šumarskog društva u Tursku 394

In memoriam

Stjepan Mikac	
Petar Prebježić (1924. – 2025.)	401
Dorica Matešić	
Mirko Miladinović (1941. – 2025.)	402
Krešimir Žagar	
Dubravko Hodak (1967. – 2025.)	403

ZAHVALA DOSADAŠNJEM UREDNIKU

S brojem 5-6 149. godišta Šumarskog lista završilo se razdoblje glavnog i odgovornog urednika Josipa Margaletića. Prof. dr. sc. Josip Margaletić prihvatio se uređivanja našeg časopisa 2015. godine s brojem 3-4. Od tada je neprekidno, dobrim dijelom usporedno s dekanskim obvezama na matičnom fakultetu, osiguravao redovito izlaženje Šumarskog lista i ispunjenje njegove uloge znanstveno-stručnog i staleškog časopisa Hrvatskog šumarskog društva. Tijekom svojeg mandata uredio je 62 volumena (409 znanstvenih članaka) čime se uvrstio među najdugovječnije urednike našeg časopisa.

Hrvatsko šumarsko društvo zahvaljuje dosadašnjem glavnom i odgovornom uredniku prof. dr. sc. Josipu Margaletiću na njegovu marljivu radu.

RIJEČ UREDNIŠTVA

ŠUMARIJA – OSNOVNA ORGANIZACIJSKA JEDINICA ŠUMARSTVA

Hrvatsko šumarstvo ove godine obilježava 260 godina osnutka prvih šumarija. Opće je poznato da su to bile šumarije Oštarije, Krasno i Petrova gora. Do danas samo je Šumarija Krasno zadržala kontinuitet postojanja. Međutim, ni preostale dvije šumarije nisu nestale nego su samo promijenile mjesta sjedišta. Šumarija Oštarije spustila se na morsku obalu u Karlobag dok je šumarija Petrova gora izašla iz šume u mjesto Vojnić iako polovicom šumskog bogatstva Petrove gore gospodare i šumarije Gvozd i Topusko, pa se može reći da su i one sljednici jedne od prve tri šumarije. Prve šumarije nastale su u sklopu vojnog ustroja tadašnje Hrvatske vojne krajine, što je potrajalo sljedećih stotinjak godina. Te su šumarije prešle u civilni ustroj razvojačenjem Vojne krajine početkom sedamdesetih godina 19. stoljeća. U civilnom dijelu Hrvatske, šumarije su osnivali uglavnom veliki šumoposjednici, a manji broj i država, koja u tom dijelu nije imala veće šumske komplekse, te kasnije i neke općine za svoje šume.

Vrijedno se podsjetiti što šumarije kao osnovne organizacijske jedinice šumarstva znače. Pogledom na sačuvane šumarske karte iz 18. i 19. stoljeća može se primijetiti da su se za sjedišta šumarija birala mjesta u srcu šumskih kompleksa. Nakon izgradnje mreže željeznica to je postao bitan čimbenik za odabir sjedišta šumarija. Ustroj šumarija za državne šume stvoren je sedamdesetih godina 19. stoljeća na područje tadašnje Kraljevine Hrvatske i Slavonije bez područja Istre i Dalmacije. Sadržavao je 43 šumarije s prosječnom površinom od 15 000 ha. Početni ustroj dograđivao se formiranjem šumarija za šume imovnih općina koje su odvojene od državnih šuma. Tako je 1923. godine broj šumarija narastao na 79, s tim da su neka mjesta imala dvije šumarije – jednu za državne šume, a drugu za šume imovnih općina. Prosječna površina po šumariji smanjila se na 9 000 ha. Početkom 1942. godine, nakon ukidanja imovnih općina i vraćanja njihovih šuma u državno vlasništvo, broj šumarija povećao se na 102, s tim da je u šumsko područje uračunat i dio Dalmacije. Trend povećanja nastavio se nakon Drugoga svjetskog rata povećanjem površina državnih šuma te je 1952. godine u sklopu tadašnjih devet šumskih gospodarstava od Iloka do Dubrovnika broj šumarija bio 138. Maksimalan broj od 187 šumarija na području Hrvatske u današnjim granicama dosegnut je 1955. godine kada su šumarije funkcionirale kao ustanove sa samostalnim financiranjem bez postojanja šumskih gospodarstava. Ponovnim osnivanjem šumskih gospodarstava početkom šezdesetih godina 20. stoljeća broj šumarija se ustalio jer više nije bilo tako čestih reorganizacija kao

prethodnih 15 godina. Praksa je većinom pokazala da lutanja u promjenama nisu donosila bolje pa se vraćalo na stara rješenja. Formiranjem Hrvatskih šuma, jedinstvenog poduzeća za gospodarenje šumama i šumskim zemljištima u Republici Hrvatskoj, broj šumarija 1991. godine bio je 167. Današnji broj je neznatno veći sa 169 postojećih šumarija i prosječnom površinom šumarije od 12 000 ha. Ne računajući 26 šumarija s područja Istre i Dalmacije, prosječna površina šumarije nešto je manja od 10 000 ha. U usporedbi s prosječnom veličinom šumarije 1873. godine to je manje za 5 000 ha. Uvjeti poslovanja i zadaci šumarije u proteklih stoljeće i pol neusporedivo su drukčiji. Na svojim počecima osnovna uloga šumarije bila je zaštititi šume od nelegalne i neracionalne sječe pa su većina osoblja bili čuvari šume. Kroz vrijeme uloga šumarije se mijenjala pa je rasla potreba za educiranim šumskim zaposlenicima koji mogu obavljati sve poslove u šumi. Šumarija je zato imala i ima značajnu socijalnu ulogu u svojoj sredini. U današnjim vremenima kada pratimo negativne demografske promjene u Hrvatskoj, smanjenje broja šumarija samo bi pomoglo negativnom trendu u ruralnim područjima. Zatvaranjem šumarija u manjim sredinama dodatno bi se umanjio motivacijski potencijal za život u takvim mjestima gdje nestaju pošte, škole pa i trgovine. Iako su prošla vremena kada su najcjenjenije osobe u selu bile učitelj, svećenik i šumar, ipak je uloga šumara u manjim sredinama još uvijek značajna. Danas su šumari rijetki građani Hrvatske koji svojim poslom pokrivaju sva područja države, kao i granična područja, što im daje dodatnu težinu u kontroli prostora, pogotovo uz izgradnju šumskih cesta i protupožarnih prosjeka. U teritorijalnoj organizaciji države šumarije imaju važnu ulogu za šumarski sektor pa bi, na primjer, ukidanje Šumarije Čakovec, jedine šumarije na području Međimurske županije, svelo šumarstvo u toj županiji na razinu revira koji nema snagu institucije i ne može predstavljati ni struku ni šumarstvo poput upravitelja šumarije.

Bez obzira na promjene država, društvenih uređenja, vrste vlasništva nad šumama i organiziranosti šumarstva, šumarije su bile i ostat će osnovne organizacije vezane za obavljanje operativnih poslova na terenu. Stabilnost njihovog postojanja jamči veću posvećenost osnovnoj ulozi šumarstva u potrajnom gospodarenju šumama.

Zbog svega toga čuvajmo šumarije. One su dokaz naše prisutnosti u svim dijelovima domovine.

Uredništvo

EDITORIAL

FOREST OFFICE – BASIC ORGANIZATIONAL UNIT OF FORESTRY

This year, Croatian forestry marks the 260th anniversary of the establishment of the first forest offices. It is widely known that these were the forest offices of Oštarije, Krasno, and Petrova Gora. To this day, only Krasno Forest Office has continuously existed since its establishment. However, the remaining two forest offices did not disappear, but only changed their headquarters' locations. Oštarije Forest Office moved down to the coast in Karlobag, while Petrova Gora Forest Office moved out of the forest to the town of Vojnić, although half of the forests of Petrova Gora are managed by the forest offices of Gvozd and Topusko, so it can be said that they are also successors to one of the first three forest offices. The first forest offices were established as part of the military structure of the Croatian Military Frontier, which lasted for the next hundred years. These forest offices were transitioned into the civil system with the demilitarization of the Military Frontier in the early 1870s. In the civilian part of Croatia, forest offices were mostly established by large forest landowners, and to a lesser extent by the state, which did not possess large forest complexes in that area, and later by some municipalities for their own forests.

It is worth recalling what forest offices as basic organizational units of forestry represent. By examining the preserved forestry maps from the 18th and 19th century, it is evident that the headquarters of forest offices were chosen in the heart of forest complexes. After the construction of the railway network, it became an important factor in choosing the headquarters of a forest office. The organization of forest offices for state forests was created in the 1870s in the territory of the Kingdom of Croatia-Slavonia, excluding Istria and Dalmatia. It comprised 43 forest offices with an average area of 15,000 hectares. The initial organization was further developed by establishing forest offices for municipal forests, which were separated from state forests. Thus, in 1923, the number of forest offices had grown to 79, with some locations having two forest offices – one for state forests and another for municipal forests. The average area of the forest office decreased to 9,000 hectares. At the beginning of 1942, after the dissolution of municipal forests and their return to state ownership, the number of forest offices increased to 102, with part of Dalmatia also being included in the forest area. The trend of growth continued after World War II with an increase in the area of state forests, and in 1952, within nine forest management units located from Ilok to Dubrovnik, the number of forest offices rose to 138. The maximum number of 187 forest offices within the territory of Croatia today's borders was reached in 1955, when forest offices operated as institutions with independent financing, without forest management units. With the re-establishment of forest management units in the early 1960s, the number of forest offices stabilized,

since there were no longer frequent reorganizations like in the previous 15 years. In most cases, practice showed that frequent changes did not bring any improvement, so former solutions were reinstated. With the establishment of Croatian Forests, a unified company for the management of forests and forest land in the Republic of Croatia, the number of forest offices in 1991 was 167. Today, the number is slightly higher, with 169 existing forest offices and an average forest office area of 12,000 hectares. Excluding 26 forest offices from Istria and Dalmatia, the average area per forest office is slightly less than 10,000 hectares. This is 5,000 hectares less than the average size of a forest office in 1873.

The working conditions and tasks of a forest office over the past century and a half have changed significantly. In its early days, the main role of the forest office was to protect forests from illegal and unplanned logging, which is why most of the staff were forest guards. Over time, the role of the forest office evolved, and the need grew for educated forestry employees capable of performing all forest-related tasks. Thus, the forest office has always had a significant social role in the local community. Nowadays, when we observe negative demographic trends in Croatia, reducing the number of forest offices would only support the negative trend in rural areas. Closing forest offices in smaller communities would further reduce the motivation to live in those places, where even post offices, schools, and shops are disappearing. Although the days are gone when the most respected people in the village were the teacher, the priest, and the forester, the role of the forester in smaller communities is still significant. Today, foresters are among the few citizens of Croatia whose work covers all areas of the country, including border regions, which strengthens their role in overseeing the territory, especially with the construction of forest roads and firebreaks. In the territorial organization of the state, forest offices play an important role in the forestry sector, which is why the abolition of, for example, Čakovec Forest Office, the only forest office in Međimurje County, would reduce forestry in that county to the level of a district manager, which lacks the institutional strength and cannot represent either the profession or the forestry sector as a forest office manager can.

Regardless of changes of states, social systems, types of forest ownership, and the organization of forestry, forest offices have always been and will remain the basic units responsible for performing operational tasks in the field. The stability of their existence guarantees greater dedication to the primary role of forestry in sustainable forest management.

For all these reasons, let us preserve forest offices. They are proof of our presence in all parts of our homeland.

Editorial Board

UTJECAJ SUŠE NA KONCENTRACIJU FOTOSINTETSKIH PIGMENATA U LIŠĆU OBIČNE BUKVE I HRASTA KITNJAKA TE POVRATNU KALIBRACIJU KLOROFILMETRA MC-100

IMPACT OF DROUGHT ON PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN LEAVES OF COMMON BEECH AND SESSILE OAK, AS WELL AS ON RETURN CALIBRATION OF CHLOROPHYLL METER MC-100

Krunoslav SEVER^{1*}, Filip MILAKOVIĆ², Antonia VUKMIROVIĆ¹

SAŽETAK

Ciljevi ovoga rada bili su ispitati utjecaj vrste i suše na koncentraciju fotosintetskih pigmenata (klorofila i karotenoida) i njihove recipročne omjere u lišću obične bukve i hrasta kitnjaka te utjecaj suše na preciznost nedestruktivne procjene koncentracije ukupnih klorofila u lišću spomenutih vrsta pomoću prijenosnog optičkog klorofilmetra MC-100. Istraživanje je provedeno na prirodnom pomlatku obične bukve i hrasta kitnjaka koji je tijekom vegetacijskoga razdoblja 2022. godine bio uredno zalijevan, dok je tijekom vegetacijskoga razdoblja 2023. godine bio izložen suši. S tako tretiranog pomlatka tijekom obiju godina uzorkovano je lišće kojemu je izmjeren klorofilni indeks pomoću prethodno spomenutog klorofilmetra (*in situ*). Nakon toga, uzorkovano lišće bilo je podvrgnuto daljnjim laboratorijskim analizama s ciljem utvrđivanja njegovih morfoloških značajki i koncentracije fotosintetskih pigmenata (klorofila *a*, klorofila *b*, ukupnih klorofila *a+b* i karotenoida). Budući da se obična bukva odlikuje mezofilnijim, a hrast kitnjak kserofilnijim fiziološko-morfološkim svojstvima, može se hipotetski pretpostaviti da će suša imati negativniji utjecaj na koncentracije fotosintetskih pigmenata u lišću obične bukve nego u lišću hrasta kitnjaka. Prema rezultatima faktorske ANOVA-e u kombinaciji s rezultatima deskriptivne statistike suša je izazvala opadanje koncentracije klorofila i porast koncentracije karotenoida u lišću obiju vrsta. Međutim, tijekom sušne 2023. godine porast koncentracije karotenoida bio je značajno veći u lišću obične bukve nego u lišću hrasta kitnjaka, dok su koncentracije klorofila i recipročni omjeri koncentracije klorofila i karotenoida bili podjednaki u lišću obiju vrsta. Takav rezultat ukazuje da bi efikasnija produkcija karotenoida tijekom sušnoga razdoblja mogla pomoći običnoj bukvi u ublažavanju fotooksidacijskih oštećenja kloroplasta i/ili značajnijem opadanju koncentracije klorofila. U skladu s tim, može se pretpostaviti da obična bukva zahvaljujući efikasnijoj produkciji karotenoida tijekom sušnoga razdoblja održava svoju konkurentnost prema suši tolerantnijem hrastu kitnjaku. Rezultati ANCOVA-e u kombinaciji s rezultatima regresijske analize otkrivaju da godina odnosno suša nije imala značajan utjecaj na parametre kalibracijskih jednadžbi koje opisuju odnos između klorofilnog indeksa i koncentracije ukupnih klorofila u lišću obične bukve i hrasta kitnjaka. To znači da je klorofilmetar MC-100 uz primjenu odgovarajućih kalibracijskih jednadžbi pouzdan alat za procjenu koncentracije ukupnih klorofila u lišću obične bukve i hrasta kitnjaka, neovisno o utjecaju suše.

KLJUČNE RIJEČI: klorofilmetar, klorofilni indeks, klorofili, karotenoidi, *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea*

¹ Prof. dr. sc. Krunoslav Sever, Antonia Vukmirović, mag. ing. silv., Sveučilište u Zagrebu Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Zagreb

² Filip Milaković, univ. bacc. ing. silv., Petrinja

* dopisni autor: Krunoslav Sever, e-mail: ksever@sumfak.unizg.hr

UVOD

INTRODUCTION

Dugotrajna sušna razdoblja kao sastavna komponenta sveprisutnih klimatskih promjena kod šumskoga drveća izazivaju sušni stres, što se na području Europe pa tako i Republike Hrvatske u posljednje vrijeme događa sve češće (Bréda i dr. 2006, Buras i dr. 2020, Senf i dr. 2020, IPCC 2023). Takvi događaji narušavaju vitalnost šumskoga drveća, što se prepoznaje po opadanju koncentracije fotosintetskih pigmenata u lišću i gubitku zelene boje lišća (Thomas i dr. 2024). Najvažniji fotosintetski pigmenti u biljnom svijetu su klorofili (*a* i *b*) i karotenoidi koji upijaju svjetlost i određuju efikasnost fotosinteze te na taj način snažno utječu na sveukupan rast i razvoj šumskoga drveća (Lichtenthaler 1987, Mafakheri i dr. 2010, Croft i dr. 2017, Hu i dr. 2023). Fotosintetski pigmenti koji su smješteni na tilakoidnim membranama kloroplasta zajednički grade fotosustave I i II. Unutar tih fotosustava klorofil *a* primarno je zadužen za predaju svojih pobuđenih elektrona primarnom akceptoru elektrona, dok je klorofil *b* pomoćni pigment koji primarno služi kao antena za hvatanje svjetlosti i prijenos vlastite energije na klorofil *a*. Primarna uloga karotenoida ogleda se u preuzimanju viška energije nastale unutar fotosustava, kada klorofil *a* svoje pobuđene elektrone ne uspije predati primarnom akceptoru elektrona, tj. pretvorbi te suvišne energije u toplinu, što rezultira sprječavanjem i/ili ublažavanjem fotooksidacijskih oštećenja cjelokupnog fotosintetskog aparata (Palett i Young 1993, Biswall 1995, Taiz i Zeiger 2006).

Obična bukva (*Fagus sylvatica* L.) i hrast kitnjak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) predstavljaju dvije konkurentne vrste šumskoga drveća koje često pridolaze na istim staništima gdje tvore mješovite sastojine koje se odlikuju velikom ekološkom, ekonomskom i socijalnom vrijednošću (Vukelić 2012). Bez obzira na to što često dijele stanište, ekofiziološka i/ili fiziološko-morfološka svojstva obične bukve i hrasta kitnjaka prilično su različita. Obična bukva odlikuje se mezofilnijim fiziološko-morfološkim svojstvima i osjetljivija je na sušu, dok se hrast kitnjak odlikuje kserofilnijim fiziološko-morfološkim svojstvima i tolerantniji je na sušu (Aranda i dr. 2000, Backes i Leuschner 2000, Arend i dr. 2013, Pretzsch i dr. 2013, Sánchez-Gómez i dr. 2013, Meyer i dr. 2020). Povišenu razinu tolerantnosti biljaka na sušu obično prati njihova povišena sposobnost zaštite i popravka fotosintetskog aparata od fotooksidacijskih oštećenja, što je kod vrsta iz roda *Quercus* prilično dobro izraženo (Thomas i Gausling 2000, Arend i dr. 2013). U skladu s tim, pod utjecajem sušnoga stresa, vrste i/ili njihovi genotipovi koji su tolerantniji na sušu uspijevaju koncentraciju

svojih fotosintetskih pigmenata u lišću održati višom u odnosu na one koji su manje tolerantni na sušu (Lauteri i dr. 1997, Pšidová i dr. 2013, Li i dr. 2018a, Thomas i dr. 2024). Prema tome, može se hipotetski pretpostaviti da bi dugotrajna suša mogla imati negativniji utjecaj na koncentracije fotosintetskih pigmenata u lišću obične bukve nego hrasta kitnjaka.

Nagle promjene u koncentraciji fotosintetskih pigmenata i/ili njihovih recipročnih odnosa u lišću šumskoga drveća predstavljaju prve simptome prisutnosti biotskog i/ili abiotskog stresa (Bacci i dr. 1998, Percival i dr. 2008). U skladu s tim, redovitim sezonskim praćenjem koncentracije klorofila u lišću šumskoga drveća može se kontrolirati njegova vitalnost (Li i dr. 2018b). To ima poseban značaj u kontekstu kontroliranja vitalnosti i kvalitete sadnica tijekom njihove proizvodnje u šumskim rasadnicima, što podrazumijeva raznovrsne tretmane (fertilizacija, navodnjavanje, zaštita od patogena i sl.) te kontrolu utjecaja primijenjenih tretmana na kvalitetu proizvedenih sadnica s ciljem financijske i organizacijske optimizacije proizvodnoga procesa (Bonnevillie i Fyles 2006, Seletković 2006, Perić i dr. 2009, Schmal 2011). Međutim, tradicionalne laboratorijske metode za utvrđivanje koncentracije klorofila predstavljaju svojevrsnu prepreku u provođenju kontinuiranog monitoringa sezonske dinamike klorofila u lišću šumskoga drveća, prvenstveno zbog svoje visoke cijene, dugotrajnosti analiza i destrukcije biljaka prilikom sakupljanja uzoraka (van den Berg i Perkins 2004). Iz tog razloga, u posljednje vrijeme na tržištu se pojavljuje sve veći broj prijenosnih optičkih klorofilmetara različitih proizvođača, kao što su CCM-200 (Opti Sciences, Tyngsboro, Massachusetts, USA), SPAD-502 (Minolta Camera Co., Osaka, Japan) i MC-100 (Apogee Instruments, Utah, USA) pomoću kojih je moguće na relativno jednostavan, brz, jeftin i nedestruktivan način izmjeriti koncentraciju klorofila u lišću istraživane vrste (Cate i Perkins 2003, van den Berg i Perkins 2004, Jifon i dr. 2005, Percival i dr. 2008, Silla i dr. 2010, Filimon i dr. 2014, Sever i dr. 2018, Brown i dr. 2022).

Precizna izmjera koncentracije klorofila u lišću jednogodišnjih poljoprivrednih usjeva, višegodišnjih poljoprivrednih nasada i šumskog drveća pomoću klorofilmetra zahtijeva njegovu povratnu kalibraciju. To podrazumijeva paralelnu izmjeru indeksa relativnog sadržaja klorofila (klorofilnog indeksa) pomoću klorofilmetra i stvarne koncentracije klorofila u istom tom lišću, koja je utvrđena laboratorijski. Nakon toga se pomoću odgovarajućih regresijskih modela ispituje odnos između nezavisne (klorofilnog indeksa) i zavisne (stvarne koncentracije klorofila) varijable (Li i dr. 2017). U slučaju prihvatljivog rezultata koji u prvom redu podrazumijeva

značajan odnos zavisne i nezavisne varijable te zadovoljavajući koeficijent determinacije, povratnu kalibraciju klorofilmetra za istraživanu vrstu možemo smatrati uspješnom (Brown i dr. 2022).

Međutim, ponekad se događa da klorofilmetar očitava previsoke ili preniske vrijednosti klorofilnog indeksa u odnosu na stvarnu koncentraciju klorofila u lišću (Richardson i dr. 2002, Mahajan i Pal 2016). Do toga dolazi prilikom izmjere klorofilnog indeksa u lišću koje se odlikuje različitim strukturnim značajkama (gustoćom i debljinom lisnoga parenhima te sadržajem vode), što utječe na njegove optičke značajke, tj. omjer propuštene crvene i infracrvene svjetlosti kroz plojku, na temelju čega se izračunava klorofilni indeks. Šumsko drveće odlikuje se velikom varijabilnošću strukturnih značajki lišća, što najčešće ovisi o genotipu i starosti lišća, ali i cijelom nizu okolišnih čimbenika, uključujući sušu (Gallé i Feller 2007, García-Plazaola i dr. 2008, Esteban i dr. 2015). Međusezonska varijabilnost okolišnih čimbenika u prirodi je vrlo učestala i gotovo normalna pojava koju prati promjena strukturnih i/ili optičkih značajki lišća, a koje kod šumskoga drveća od godine do godine mogu značajno varirati (Meskini-Vishkaee i dr. 2015, Sever i dr. 2016). Prema tome, može se pretpostaviti da bi parametri kalibracijskih jednadžbi (odsječci na osi Y i nagibi pravaca) konstruiranih tijekom vlažne i sušne godine mogli biti nehomogeni. To bi značilo da se u sušnoj godini pomoću klorofilmetra ne može obaviti precizna i pouzdana izmjera stvarne koncentracije klorofila u lišću šumskoga drveća ako je kalibracijska jednadžba konstruirana tijekom vlažne godine i obrnuto.

S obzirom na prethodno navedeno, ciljevi ovoga istraživanja bili su ispitati (i) utjecaj vrste i suše na koncentraciju fotosintetskih pigmenata i njihove recipročne omjere u lišću obične bukve i hrasta kitnjaka te (ii) utjecaj suše na homogenost parametara (odsječaka na osi Y i nagiba pravaca) kalibracijskih jednadžbi konstruiranih na temelju klorofilnog indeksa izmjerena pomoću klorofilmetra MC-100 i laboratorijski utvrđene koncentracije ukupnih klorofila u lišću obične bukve i hrasta kitnjaka.

MATERIJALI I METODE

MATERIALS AND METHODS

Biljni materijal i područje istraživanja – *Plant material and study site*

Istraživanje je provedeno tijekom 2022. i 2023. godine na pomlatku obične bukve i hrasta kitnjaka uzgajanom u Šumskom vrtu Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije. Istraživani pomladak porijeklom je iz dviju prirodnih mješovitih sastojina hrasta kitnjaka i obične bukve s područja Karlovca i Slavenskog Broda (Sever i dr. 2022). U proljeće 2021. godine pomladak je iz spomenutih sastojina presađen u drveni sanduk dimenzija 155 × 275 × 80 cm, koji je bio ispunjen s 3800 litara Klasman TS3 supstrata za uzgoj biljaka, nakon čega se do proljeća 2022. godine aklimatizirao na stanišne prilike područja istraživanja. U proljeće 2022. i 2023. godine drveni sanduk s pomlatkom bio je natkriven prozirnim PVC pokrovom radi sprječavanja njegova natapanja s



Kolovoz 2022. godine



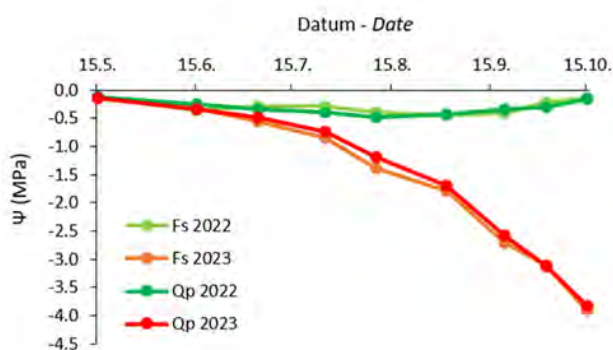
Kolovoz 2023. godine

Slika 1. Fenotipski izgled istraživnog pomlatka početkom kolovoza 2022. i 2023. godine.
Figure 1 Phenotypic appearance of the investigated saplings at the beginning of August 2022 and 2023.

prirodnim oborinama tijekom samog istraživanja. U jesen 2022. godine PVC pokrov bio je uklonjen s ciljem izlaganja istraživog pomlatka prirodnim oborinama tijekom kasne jeseni i zime između vegetacijskih razdoblja 2022. i 2023. godine. U drveni sanduk presađeno je ukupno 100 biljaka u međusobnom razmaku 20×18 cm, od toga 50 biljaka obične bukve i 50 biljaka hrasta kitnjaka (Slika 1). U proljeće 2022. godine neposredno prije početka istraživanja prosječna visina bukova pomlatka iznosila je $46,25 \pm 16,81$ cm, a kitnjakova $49,66 \pm 21,88$ cm.

Dizajn pokusa i izmjera vodnoga potencijala u lišću – *Experimental design and measurement of water potential in leaves*

Istraživanje je započelo početkom vegetacijskog razdoblja 2022. godine tijekom kojega je istraživani pomladak svaka četiri dana bio uredno zalijevan s 40 litara vode. Tijekom 2022. godine vodni potencijal u lišću istraživog pomlatka nije padao ispod $-0,5$ MPa (Slika 2), što sugerira da pomladak tada nije bio izložen sušnom stresu te je rastao u normalnim okolišnim uvjetima. U sljedećem vegetacijskom razdoblju, 2023. godine, istraživani pomladak više nije bio zalijevan. To je rezultiralo kontinuiranim opadanjem vodnoga potencijala u njegovu lišću koji je kod obje vrste početkom srpnja opao ispod $-0,5$ MPa, a do kraja vegetacijskoga razdoblja ispod $-3,8$ MPa (Slika 2), što kod obične bukve i hrasta kitnjaka ukazuje na snažan sušni stres (Epron i Dreyer 1993, Arend i dr. 2016). Vodni potencijal u lišću istraživog pomlatka mjereno je svakih 15 dana tijekom oba vegetacijska razdoblja, što se obavljalo pred zorom, na jednom listu po biljci, pomoću prijenosne tlačne komore (PMS Instrument Company, Oregon, USA).

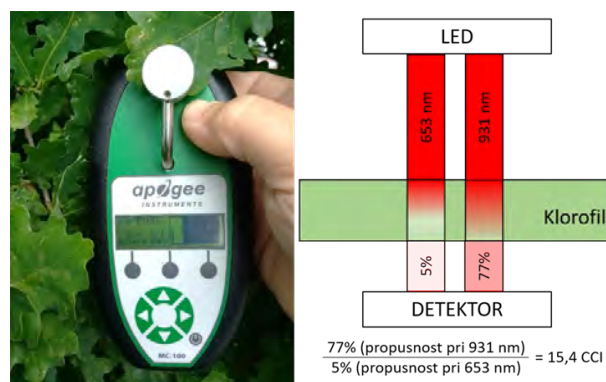


Slika 2. Sezonski trend srednjih vrijednosti vodnoga potencijala (Ψ) u lišću obične bukve (Fs) i hrasta kitnjaka (Qp) tijekom vlažne 2022. i sušne 2023. godine.

Figure 2 Seasonal pattern of the mean values of leaf water potential (Ψ) in common beech (Fs) and sessile oak (Qp) leaves during the wet year 2022 and dry year 2023.

Izmjera klorofilnog indeksa pomoću klorofilmetra MC-100 – *Measurement of the chlorophyll index using a chlorophyll meter MC-100*

U ovom istraživanju korišten je klorofilmetar MC-100 (Apogee Instruments, Utah, USA) koji za određivanje relativnog sadržaja klorofila u lišću koristi prirodno ograničenje molekula klorofila koje ne mogu u jednoj mjeri apsorbirati svjetlost različitih valnih duljina. S obzirom na to, klorofilmetar MC-100 pomoću svjetlosnih LED dioda na gornju stranu plojke lista emitira svjetlost dviju valnih duljina (jedne od 653 nm, a druge od 931 nm), a na donjoj strani plojke pomoću uparenih detektora očitava količinu propuštene svjetlosti objiju valnih duljina. Budući da je valna duljina od 653 nm fotosintetski aktivna, klorofil ju uglavnom apsorbira i slabije se propušta kroz list. Valna duljina svjetlosti od 931 nm odgovara infracrvenom dijelu sunčeva spektra koji nije fotosintetski aktivan, a služi kao referentna mjera kompenzacije razlika strukturnih značajki lista te se u većoj mjeri propušta kroz list. Na temelju omjera propuštene infracrvene i crvene svjetlosti (% propusnosti pri 931 nm / % propusnosti pri 653 nm) klorofilmetar automatski računa i na ekranu prikazuje relativni indeks sadržaja klorofila u listu (CCI – engl. *chlorophyll content index*). Budući da svjetlost emitiraju LED diode, lisno tkivo i fotosintetski pigmenti prilikom mjerenja ostaju neoštećeni. Područje mjerenja je kružnog oblika, promjera 9,0 mm i površine 63,6 mm² (Apogee Instruments-Owner's manual 2022). Na slici 3 prikazani su klorofilmetar MC-100 i osnovni princip njegova rada.



Slika 3. Klorofilmetar MC-100 i shematski prikaz principa njegova rada. Figure 3 Chlorophyll meter MC-100 and schematic principle of its operation.

Uzorkovanje i izmjera morfoloških značajki lišća – *Sampling and measurement of morphological leaf traits*

Uzorkovanje lišća podrazumijevalo je izmjeru klorofilnoga indeksa u lišću (CCI) pomoću prethodno opisanog klorofilmetra (*in situ*) i njegovo sakupljanje za potrebe daljnjih laboratorijskih analiza. To je tijekom 2022. godine obavljeno u tri navrata (20. lipnja, 16. kolovoza i 12. listopada), a tijekom 2023. godine u četiri navrata (31. svibnja, 6. srpnja, 10. kolovoza i 9. listopada). U svakom



Slika 4. Raspon boja uzorkovanoga lišća obične bukve i hrasta kitnjaka od svjetlije zelene koja ukazuje na nižu koncentraciju klorofila do tamnije zelene koja ukazuje na višu koncentraciju klorofila u lišću.

Figure 4 Colour range of common beech and sessile oak sampled leaves from lighter green, which indicates a lower concentration of chlorophyll, to darker green, which indicates a higher concentration of chlorophyll in the leaves.

navratu uzorkovanja nasumično je odabrano po 10 biljaka obične bukve i 10 biljaka hrasta kitnjaka neovisno o porijeklu i stupnju zasjenjenosti njihova lišća od strane susjednih biljaka. Jedini uvjet prilikom uzorkovanja bio je da boja lišća odabranih biljaka varira u rasponu od svjetlije do tamnije zelene (Slika 4). Sa svake od tih biljaka uzorkovan je po jedan list na kojemu je odmah izmjereno 7 vrijednosti CCI-a čiji je prosjek predstavljao CCI uzorkovanoga lista. Prema tome, s bukova, odnosno kitnjakova pomlatka tijekom 2022. godine uzorkovano je ukupno 30 listova, a tijekom 2023. godine 40 listova. Nakon izmjere CCI-a lišće je smješteno u prijenosni hladnjak na temperaturu zraka od 4 °C sve do dolaska u laboratorij, gdje je tijekom naredna 24 sata rehidratizirano. Nakon toga, svakom je listu utvrđena masa svježeg tvari (SvT) pomoću analitičke vage s točnošću od 0,01 g, a pomoću programskog paketa WinFOLIA 2005b (WinFolia™ 2001) izmjerena mu je i površina (A). Na temelju podataka o masi svježeg tvari i površine lišća, za svaki je list izračunata specifična lisna masa (SLM), što predstavlja međusobni odnos mase svježeg tvari i površine lista (g/cm²).

Laboratorijsko određivanje koncentracije fotosintetskih pigmenata u lišću i konstrukcija kalibracijskih jednadžbi – Laboratory determination of the concentration of photosynthetic pigments in leaves and the construction of calibration equations

Koncentracija ukupnih klorofila i karotenoida utvrđena je u svakom uzorkovanom listu pojedinačno (svaki list predstavljao je zasebni uzorak). Usitnjeno lišće homogenizirano je tekućim dušikom u tarioniku. S 0,1 g tako pripremljenog praha ispunjene su prethodno pripremljene Eppendorf kivete zapremnine 0,2 ml uz dodatak hladnog acetona (80 %). Tkivo je nakon toga ekstrahi-

rano 15 minuta u hladnjaku, nakon čega je centrifugirano na 1000 okretaja u 10 minuta. Supernatant je dekantiran u plastične epruvete, a kruti ostatak zelene boje reekstrahiran je s acetonom sve dok tkivo nije izgubilo zelenu boju. Nakon toga, pomoću menzure izmjeren je volumen svakog uzorka. Tako pripremljeni uzorci korišteni su za spektrofotometrijsko mjerenje na UV/VIS spektrofotometru (Specord 40, Analytic Jena) pomoću kojeg je izmjerena apsorbancija uzoraka na valnim duljinama od 661,6 nm, 664,8 nm i 470 nm. Na temelju poznate lisne mase (m), volumena (V) i apsorbancije (A) pri određenoj valnoj duljini izračunate su koncentracije fotosintetskih pigmenata u svakom uzorku pomoću sljedećih formula (Lichtenthaler 1987):

$$\text{Klor } a = (11.24 \times A(661.6\text{nm}) - 2.04 \times A(644.8\text{nm})) \times V / (m \times 1000)$$

$$\text{Klor } b = (20.13 \times A(644.8\text{nm}) - 4.19 \times A(661.6\text{nm})) \times V / (m \times 1000)$$

$$\text{Klor } a+b = (7.05 \times A(661.6\text{nm}) + 18.09 \times A(644.8\text{nm})) \times V / (m \times 1000)$$

$$\text{Kar} = (1000 \times A(470\text{nm}) - 1.90 \times (11.24 \times A(661.6\text{nm}) - 2.04 \times A(644.8\text{nm})) - 63.14 \times (20.13 \times A(644.8\text{nm}) - 4.19 \times A(661.6\text{nm}))) \times V / (214 \times m \times 1000)$$

Izmjerene vrijednosti fotosintetskih pigmenata (Klor *a*, Klor *b*, Klor *a+b*, Kar) iskazane su u mg/g svježeg tvari uzorka (SvT).

Nakon laboratorijskog utvrđivanja koncentracije ukupnih klorofila u uzorkovanom lišću konstruirane su po dvije kalibracijske jednadžbe (linearne regresijske jednadžbe) za svaku vrstu, koje opisuju odnos između izmjerenoga CCI-a (*in situ*) i stvarne laboratorijski utvrđene koncentracije ukupnih klorofila u lišću, tijekom vlažne 2022. i sušne 2023. godine.

Statistička analiza – Statistical analysis

Faktorska ANOVA provedena je s ciljem ispitivanja utjecaja vrste (obična bukva u odnosu na hrast kitnjak), suše (vlažna 2022. u odnosu na sušnu 2023. godina) i njihove interakcije na izmjerene vrijednosti morfoloških značajki lišća (SvT, A, SLM), koncentraciju fotosintetskih pigmenata (Klor *a*, Klor *b*, Klor *a+b*, Kar) i njihove međusobne omjere (Klor *a/b* i Klor/Kar) te *in situ* izmjereni klorofilni indeks (CCI). Tukeyjev post-hoc test proveden je s ciljem utvrđivanja značajnih razlika ($p < 0,05$) između vrsta i/ili godina. Regresijska analiza provedena je pomoću REG procedure u SAS/STAT 9,3 softverskom paketu (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) za svaku vrstu unutar godine posebno. Linearne regresijske jednadžbe konstruirane su na način da je CCI predstavljao nezavisnu varijablu, a koncentracija ukupnih klorofila (Klor *a+b*) zavisnu varijablu. Analiza kovarijance (ANCOVA) provedena je pomoću JMP 9,0 softverskog paketa (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA), uključujući analizu interakcije s ciljem ispitivanja homogenosti odsječaka na osi Y i nagiba pravaca linearnih regresijskih jednadžbi konstruiranih na temelju lišća uzorkovanoga tijekom vlažne 2022. i sušne 2023. godine, za svaku vrstu posebno.

REZULTATI

RESULTS

Utjecaj vrste i suše na strukturne značajke lišća, fotosintetske pigmente i klorofilni indeks – Effect of species and drought on structural leaf traits, photosynthetic pigments and chlorophyll index

Na masu svježe tvari, površinu i specifičnu masu lišća značajno je utjecala samo vrsta (Tablica 1). To znači da je lišće obične bukve imalo značajno manju masu svježe tvari, površinu i specifičnu masu nego lišće hrasta kitnjaka, kako tijekom vlažne 2022. tako i tijekom sušne 2023. godine (Slika 5a – c).

Na koncentracije klorofila *a*, klorofila *b*, ukupnih klorofila *a+b* te omjer koncentracije klorofila *a/b* značajno je utjecala samo godina (Tablica 1). To znači da su koncentracije klorofila *a* i *b* te ukupnih klorofila *a+b*, kao i omjer koncentracije klorofila *a/b* kod obiju vrsta bili podjednaki, ali značajno niži u sušnoj 2023. nego u vlažnoj 2022. godini (Slika 5d – g). Prema tome, u sušnoj 2023. u odnosu na vlažnu 2022. godinu koncentracije klorofila *a*, klorofila *b* i ukupnih klorofila *a+b* u lišću obične bukve bile su niže za 47 %, 28 % i 43 %, a u lišću hrasta kitnjaka za 55 %, 45 % i 53 %.

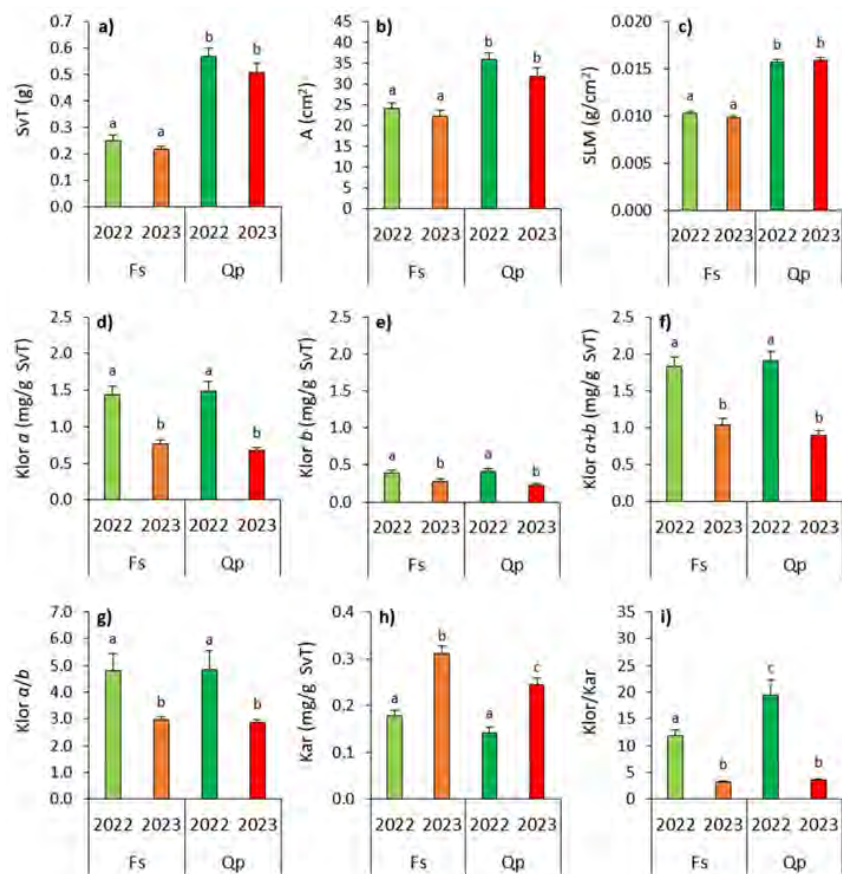
Na koncentraciju karotenoida značajno su utjecale vrsta i godina, ali ne i njihova interakcija (Tablica 1). To znači da je koncentracija karotenoida u lišću obične bukve bila značajno viša nego u lišću hrasta kitnjaka. Također, koncentracija karotenoida u lišću obje vrste bila je značajno viša u sušnoj 2023. godini nego u vlažnoj 2022. godini (Slika 5h), i to za 43 % kod obje vrste.

Tablica 1. Utjecaj vrste (obična bukva u odnosu na hrast kitnjak), suše (vlažna 2022. u odnosu na sušnu 2023. godinu) i njihove interakcije (vrsta × suša) na masu svježe tvari lišća (SvT), površinu lišća (A), specifičnu lisnu masu (SLM), koncentraciju klorofila *a* (Klor *a*), koncentraciju klorofila *b* (Klor *b*), koncentraciju ukupnih klorofila (Klor *a+b*), omjer klorofila *a* i *b* (Klor *a/b*), koncentraciju karotenoida (Kar), omjer ukupnih klorofila i karotenoida (Klor/Kar) i izmjerene vrijednosti klorofilnog indeksa (CCI).

Table 1 The main effect of species (common beech vs. sessile oak), drought (wet year 2022 vs. dry year 2023), and its interaction (species × drought) on leaf fresh matter (SvT), leaf area (A), specific leaf mass (SLM), concentration of chlorophyll *a* (Klor *a*), concentration of chlorophyll *b* (Klor *b*), concentration of total chlorophyll (Klor *a+b*), ratio of chlorophyll concentration *a* and *b* (Klor *a/b*), concentration of carotenoids (Kar), ratio of total chlorophyll and carotenoid concentration (Klor/Kar) and the measured values of chlorophyll index (CCI).

Svojstva Traits	Vrsta Species		Suša Drought		Vrsta × suša Species × drought	
	F	p	F	p	F	p
SvT	128,262	0,0001	3,184	0,077	0,276	0,600
LA	41,493	0,0001	3,059	0,083	0,413	0,522
SLM	455,531	0,0001	0,286	0,594	1,750	0,188
Klor <i>a</i>	0,062	0,804	79,185	0,0001	0,722	0,397
Klor <i>b</i>	0,213	0,645	23,971	0,0001	1,536	0,217
Klor <i>a+b</i>	0,128	0,722	84,425	0,0001	1,247	0,266
Klor <i>a/b</i>	0,003	0,954	21,533	0,0001	0,022	0,882
Kar	13,151	0,0001	69,499	0,0001	1,043	0,309
Klor/Kar	8,871	0,003	81,978	0,0001	7,266	0,008
CCI	17,457	0,0001	41,153	0,0001	7,199	0,008

Podebljane vrijednosti ukazuju na značajne utjecaje pri $p < 0,05$
 Values in bold indicate significant effects at $p < 0.05$



Slika 5. Srednje vrijednosti $\pm$ S.E. za masu svježe tvari lišća (SvT; prikaz a), površinu lišća (A; prikaz b), specifičnu masu lišća (SLM; prikaz c), koncentraciju klorofila a (Klor a; prikaz d), klorofila b (Klor b; prikaz e) i ukupnih klorofila (Klor a+b; prikaz f), omjer koncentracije klorofila a i b (Klor a/b; prikaz g), koncentraciju karotenoida (Kar; prikaz h) te omjer koncentracije ukupnih klorofila i karotenoida (Klor/Kar; prikaz i) u lišću obične bukve (Fs) i hrasta kitnjaka (Qp) uzorkovanom tijekom vlažne 2022. i sušne 2023. godine. Različita mala slova ukazuju na značajne razlike između godina i/ili vrsta pri $p < 0,05$.

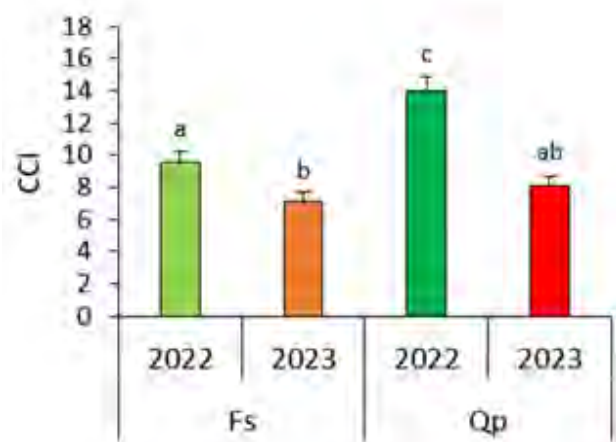
Figure 5 Mean values $\pm$ S.E. for mass of leaf fresh matter (SvT; panel a), leaf area (A; panel b), specific leaf mass (SLM; panel c), concentration of chlorophyll a (Klor a; panel d), concentration of chlorophyll b (Klor b; panel e) concentration of total chlorophyll (Klor a+b; panel f), ratio of chlorophyll a and b concentration (Klor a/b; panel g), concentration of carotenoids (Kar; panel h) and ratio of total chlorophyll and carotenoid concentration (Klor/Kar; panel i) in common beech (Fs) and sessile oak (Qp) leaves sampled in wet year 2022 and dry year 2023. Different small letters indicate significant differences among year and/or species at $p < 0.05$.

Na međusobni omjer koncentracije ukupnih klorofila i karotenoida značajno su utjecale vrsta i godina, ali i njihova međusobna interakcija (Tablica 1). To znači da je u lišću obične bukve omjer ukupnih klorofila i karotenoida bio značajno niži nego u lišću hrasta kitnjaka, ali samo tijekom vlažne 2022. godine, dok su tijekom sušne 2023. godine omjeri ukupnih klorofila i karotenoida u lišću objiju vrsta bili podjednaki (Slika 5i).

Na klorofilni indeks značajno su utjecale vrsta i godina, ali i njihova međusobna interakcija (Tablica 1). To znači da su u lišću obične bukve izmjerene značajno niže vrijednosti klorofilnog indeksa nego u lišću hrasta kitnjaka, ali samo tijekom vlažne 2022. godine, dok su tijekom sušne 2023. godine izmjere vrijednosti klorofilnog indeksa u lišću objiju vrsta bile podjednake (Slika 6).

Utjecaj suše na povratnu kalibraciju klorofilmetra MC-100 – Effect of drought on return calibration of chlorophyll meter MC-100

Između izmjerenih vrijednosti klorofilnog indeksa i koncentracije ukupnih klorofila a+b u lišću objiju vrsta utvrđene su visoko značajne ($p < 0,0001$) korelacije, kako



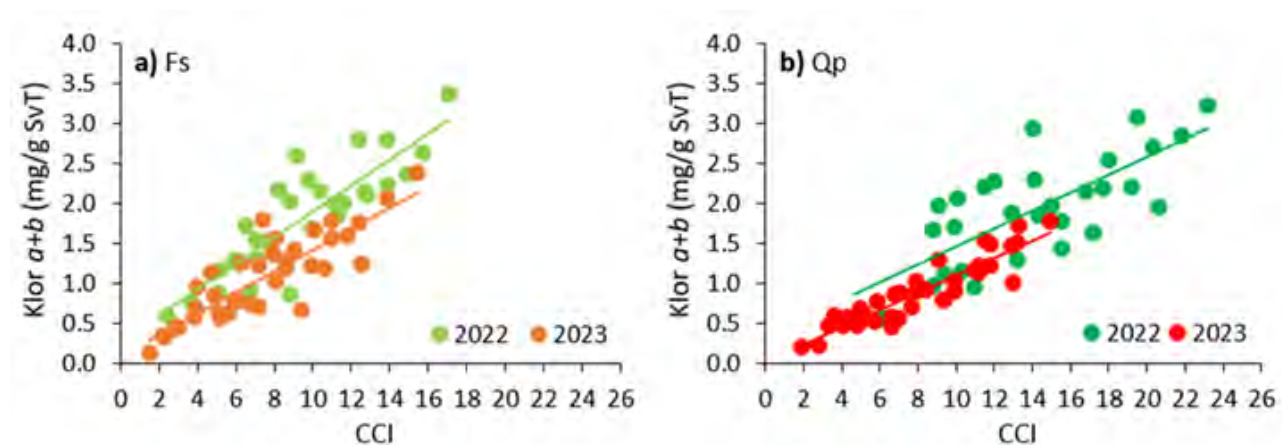
Slika 6. Srednje vrijednosti $\pm$ S.E. klorofilnoga indeksa (CCI) izmjerena u lišću obične bukve (Fs) i hrasta kitnjaka (Qp) uzorkovanoga tijekom vlažne 2022. i sušne 2023. godine. Različita mala slova ukazuju na značajne razlike između godina i/ili vrsta pri $p < 0,05$.

Figure 6 Mean values $\pm$ S.E. of chlorophyll index (CCI) measured in common beech (Fs) and sessile oak (Qp) leaves sampled in wet year 2022 and dry year 2023. Different small letters indicate significant differences among year and/or species at $p < 0.05$.

Tablica 2. Kalibracijske jednadžbe (linearne regresijske jednadžbe) konstruirane na temelju izmjerenog klorofilnoga indeksa (CCI) i stvarne koncentracije ukupnih klorofila (Klor a+b) u lišću obične bukve (Fs) i hrasta kitnjaka (Qp) uzorkovanoga tijekom vlažne 2022. i/ili sušne 2023. godine.

Table 2 Calibration equations (linear regression equations) constructed on the basis of the measured chlorophyll index (CCI) and the actual concentration of total chlorophyll (Klor a+b) in common beech (Fs) and sessile oak (Qp) leaves sampled during the wet year 2022 and/or the dry year 2023.

Vrsta Species	Godina Year	n	Kalibracijska jednadžba Calibration equation	p	R ²
<i>Fagus sylvatica</i>	2022.	30	Klor a+b (mg/g SvT) = 0,161 CCI + 0,291	< 0,0001	0,748
	2023.	40	Klor a+b (mg/g SvT) = 0,132 CCI + 0,099	< 0,0001	0,757
	2022. + 2023.	70	Klor a+b (mg/g SvT) = 0,164 CCI + 0,037	< 0,0001	0,738
<i>Quercus petraea</i>	2022.	30	Klor a+b (mg/g SvT) = 0,111 CCI + 0,350	< 0,0001	0,575
	2023.	40	Klor a+b (mg/g SvT) = 0,109 CCI + 0,015	< 0,0001	0,842
	2022. + 2023.	70	Klor a+b (mg/g SvT) = 0,133 CCI + 0,070	< 0,0001	0,778



Slika 7. Linearni odnos između klorofilnoga indeksa (CCI) i koncentracije ukupnih klorofila (Klor a+b) u svježoj tvari uzorkovanoga lišća (mg/g SvT) tijekom vlažne 2022. i sušne 2023. godine, kod obične bukve (Fs; prikaz a) i hrasta kitnjaka (Qp; prikaz b).

Figure 7 Linear relationship between the chlorophyll index (CCI) and the concentration of total chlorophyll (Klor a+b) in the fresh matter of sampled leaves (mg/g SvT) during the wet year 2022 and the dry year 2023 in common beech (Fs; panel a) and sessile oak (Qp; panel b).

Tablica 3. Razine značajnosti (p) dobivene pomoću ANCOVA-e s ciljem usporedbe odsječaka na osi Y i nagiba pravaca kalibracijskih jednadžbi koje opisuju odnos između klorofilnoga indeksa (CCI) i koncentracije ukupnih klorofila (Klor a+b) u lišću obične bukve (Fs) i hrasta kitnjaka (Qp) uzorkovanoga tijekom vlažne 2022. i sušne 2023. godine. Na razlike u nagibima pravaca ukazuju značajne interakcije godina × CCI. Samo u slučaju ako interakcija nije značajna opravdano je interpretirati razlike između odsječaka na osi Y (faktor godina).

Table 3 Significance levels (p) calculated by ANCOVA with the aim of comparing the Y-intercepts and slopes of the calibration equations which describe the relationship between the chlorophyll index (CCI) and the concentration of total chlorophyll (Klor a+b) in the common beech (Fs) and sessile oak (Qp) leaves sampled during the wet year 2022 and the dry year 2023. Differences in the slopes are indicated by a significant interaction of year × CCI. Only if the interaction is not significant can differences in the Y-intercept (year factor) be interpreted.

Vrsta Species	Godina Year	CCI	Godina × CCI Year × CCI
<i>Fagus sylvatica</i>	0,319	< 0,0001	0,166
<i>Quercus petraea</i>	0,151	< 0,0001	0,914

Razina značajnosti; p < 0,05

Significance level; p < 0.05

u vlažnoj 2022. tako i u sušnoj 2023. godini. Koeficijenti determinacije (r²) ukazuju da je u lišću obične bukve uzorkovanom tijekom vlažne 2022. i sušne 2023. godine na temelju izmjerenih vrijednosti CCI-a moguće objasniti 75 i 76 % varijacije u koncentraciji ukupnih klorofila a+b, a kod hrasta kitnjaka 58 % i 84 % (Tablica 2 i Slika 7)

Prema rezultatima ANCOVA-e utjecaj godine (suše) na parametre kalibracijskih jednadžbi (nagibe pravaca i odsječke na osi Y) koje opisuju odnos između klorofilnog indeksa i koncentracije ukupnih klorofila a+b nije bio značajan niti kod jedne vrste (Tablica 3). Uz to, koeficijenti determinacije, nagibi pravaca i odsjeci na osi Y regresijskih jednadžbi konstruiranih na temelju lišća uzorkovanog tijekom obiju godina (vlažna 2022. + sušna 2023.) bili su vrlo slični kao i kod jednadžbi koje opisuju odnos klorofilnog indeksa i koncentracije ukupnih klorofila a+b u lišću uzorkovanom posebno tijekom vlažne 2022. i sušne 2023. godine (Tablica 2).

RASPRAVA DISCUSSION

Utjecaj vrste i suše na strukturne značajke lišća i koncentraciju fotosintetskih pigmenta – *Effect of species and drought on structural leaf traits and concentration of photosynthetic pigments*

Prema dobivenim rezultatima, strukturne značajke lišća nisu se značajno razlikovale između vlažne 2022. i sušne 2023. godine, niti kod obične bukve niti kod hrasta kitnjaka (Tablica 1, Slika 5a – c). Međutim, srednje vrijednosti mase i površine lišća te specifične lisne mase kod obiju vrsta bile su nešto niže u sušnoj 2023. nego u vlažnoj 2022. godini (Slika 5a – c). To je do određene mjere u skladu s rezultatima ranijih istraživanja provedenih na šumskom drveću, uključujući običnu bukvu i hrast kitnjak, prema kojima suša umanjuje masu i površinu lišća, što ujedno mijenja njegovu specifičnu lisnu površinu i/ili specifičnu lisnu masu (Aspelmeier 2001, Farooq i dr. 2012, Weithmann i dr. 2022, Thomas i dr. 2024). Značajno viša specifična lisna masa kod hrasta kitnjaka (Tablica 1, Slika 5c) ukazuje na veću sklerofilnost njegova lišća (Abrams 1994, Backes i Leuschner 2000), što mu u odnosu na običnu bukvu osigurava bolju sposobnost adaptacije na sušni stres i/ili bolju sposobnost podnošenja suše (Aranda i dr. 1996, Aranda i dr. 2000, Raftoyannis i Radoglou 2002, Meyer i dr. 2020). U skladu s tim, bilo je za očekivati da će izloženost obiju vrsta istoj razini sušnoga stresa imati negativniji utjecaj na koncentracije fotosintetskih pigmenta u lišću obične bukve nego hrasta kitnjaka. Međutim, prema našim rezultatima to se nije dogodilo. Koncentracije klorofila u lišću obiju vrsta tijekom sušne 2023. godine bile su podjednake (Slika 5d – f), dok su koncentracije karotenoida u lišću obične bukve bile značajno više nego u lišću hrasta kitnjaka (Slika 5h). Prema tome, može se pretpostaviti da je u lišću obične bukve tijekom sušne 2023. godine uslijed naglog porasta koncentracije karotenoida došlo do sprječavanja fotooksidacijskih oštećenja kloroplasta (Choudhury i Behera 2001, Gitelson i dr. 2002), što je u konačnici rezultiralo sličnim koncentracijama klorofila u lišću obiju vrsta. U skladu s tim, može se pretpostaviti da obična bukva efikasnijom produkcijom karotenoida tijekom sušnoga razdoblja održava svoju konkurentnost prema suši tolerantnijem hrastu kitnjaku. Negativan utjecaj suše na koncentraciju klorofila u lišću može biti posljedica već spomenutih fotooksidacijskih oštećenja tilakoidnih membrana kloroplasta (Berthars i Schofes 1999), ali i nedovoljno razvijenih kloroplasta zbog otežanog usvajanja ugljika i dušika (Sack i dr. 2003, Hu i dr. 2023). U skladu s tim, ne iznenađuje što su koncentracije klorofila u lišću obiju vrsta bile značajno niže (Slika 5d – f), a koncentracije karotenoida značajno više (Slika 5h) u sušnoj 2023. nego u vlažnoj 2022.

godini. Takav rezultat u skladu je s rezultatima ranijih istraživanja prema kojima pod utjecajem suše obično dolazi do opadanja koncentracije klorofila uz istovremeni porast koncentracije karotenoida, što ujedno rezultira opadanjem recipročnog omjera ukupnih klorofila i karotenoida (Munné-Bosch i Alegre 2000, Saha i dr. 2020). U našem slučaju to je također zabilježeno. Na to ukazuju značajno niži recipročni omjeri klorofila i karotenoida u sušnoj 2023. nego u vlažnoj 2022. godini kod obiju vrsta (Slika 5i). Uz to, pod utjecajem sušnoga stresa može doći i do degradacije klorofila *b* u klorofil *a*, što rezultira porastom recipročnog omjera klorofila *a* i *b* (Guo i dr. 2016, Mulero i dr. 2022). Međutim, u našem slučaju to nije zabilježeno kod niti jedne vrste. Na to ukazuju značajno niži recipročni omjeri klorofila *a* i *b* u sušnoj 2023. nego u vlažnoj 2022. godini, kako kod obične bukve tako i kod hrasta kitnjaka (Slika 5g).

Utjecaj suše na povratnu kalibraciju klorofilmetra MC-100 – *Effect of drought on return calibration of chlorophyll meter MC-100*

U vlažnoj 2022. i u sušnoj 2023. godini laboratorijski utvrđene koncentracije ukupnih klorofila bile su u snažnoj vezi s izmjerenim vrijednostima klorofilnoga indeksa uz prilično visoke koeficijente determinacije, kako u lišću obične bukve tako i u lišću hrasta kitnjaka (Tablica 2, Slika 7). Takav rezultat u skladu je s ranijim rezultatima povratne kalibracije i/ili testiranja optičkih klorofilmetara na primjeru šumskoga drveća (Demarez i dr. 1999, Uddling i dr. 2007, Percival i dr. 2008, Coste i dr. 2010, Silla i dr. 2010, Cerovic i dr. 2012, Parry i dr. 2014, Sever i dr. 2018, Dong i dr. 2019, Brown i dr. 2022). Unatoč statistički značajnim razlikama između godina s obzirom na koncentraciju ukupnih klorofila (Slika 5f) i klorofilnog indeksa (Slika 6), rezultati ANCOVA-e nisu potvrdili negativan utjecaj godine i/ili suše na homogenost odsječaka na osi *Y* i nagibe pravaca kalibracijskih jednadžbi koje opisuju odnos klorofilnog indeksa i koncentracije ukupnih klorofila, niti kod obične bukve niti kod hrasta kitnjaka (Tablica 3). U skladu s tim, kod obiju vrsta bilo je opravdano konstruirati uniformne kalibracijske jednadžbe na temelju lišća uzorkovanoga tijekom obiju godina, vlažne 2022. i sušne 2023. (Tablica 3).

ZAKLJUČCI CONCLUSIONS

Pod utjecajem suše došlo je do opadanja koncentracije klorofila i porasta koncentracije karotenoida u lišću obiju vrsta. Međutim, tijekom suše porast koncentracije karotenoida bio je izraženiji u lišću obične bukve nego u lišću hrasta kitnjaka, dok su koncentracije klorofila bile podjednake u lišću obiju vrsta. To sugerira da bi obična bukva mogla imati efikasniju produkciju karotenoida

tijekom sušnog razdoblja što bi joj moglo pomoći u održavanju konkurentnosti prema suši tolerantnijem hrastu kitnjaku.

Na parametre kalibracijskih jednadžbi koje opisuju odnos između klorofilnog indeksa i koncentracije ukupnih klorofila u lišću obične bukve i hrasta kitnjaka nisu utjecale suša i/ili godina. Prema tome, klorofilmetar MC-100 uz primjenu odgovarajućih kalibracijskih jednadžbi predstavlja pouzdan alat za procjenu koncentracije ukupnih klorofila u lišću obične bukve i hrasta kitnjaka, neovisno o utjecaju suše.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGEMENTS

Ovo istraživanje provedeno je u sklopu istraživačkog projekta „IP-2020-02-5204 Fenotipski odgovor provenijencija obične bukve i hrasta kitnjaka na dugotrajnu sušu u interakciji s različitom koncentracijom fosfora u tlu” kojega financira Hrvatska zaklada za znanost, a koji se od 1. siječnja 2021. do 31. prosinca 2024. godine provodi na Sveučilištu u Zagrebu Fakultetu šumarstva i drvene tehnologije.

LITERATURA

REFERENCES

- Abrams, M.D., 1994: Genotypic and phenotypic variation as stress adaptations in temperate tree species: a review of several case studies. *Tree Physiology* 14: 833–842. <https://doi.org/10.1093/treephys/14.7-8-9.833>
- Apogee Instruments, 2022: Owner's manual-Chlorophyll Concentration Meter, Model MC-100. Apogee Instruments, Inc., Logan, Utah, USA.
- Aranda, I., L. Gil, J.A. Pardos, 1996: Seasonal water relations of three broadleaved species (*Fagus sylvatica* L., *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl. and *Quercus pyrenaica* Willd.) in a mixed stand in the centre of the Iberian Peninsula. *Forest Ecology and Management* 84: 219–229. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(96\)03729-2](https://doi.org/10.1016/0378-1127(96)03729-2)
- Aranda, I., L. Gil, J.A. Pardos, 2000: Water relations and gas exchange in *Fagus sylvatica* L. and *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl. in a mixed stand at their southern limit of distribution in Europe. *Trees – Structure and Function* 14: 344–352. <https://doi.org/10.1007/s004680050229>
- Arend, M., K. Sever, R. Pflug, A. Gessler, M. Schaub, 2016: Seasonal photosynthetic response of European beech to severe summer drought: Limitation, recovery and post-drought stimulation. *Agricultural and Forest Meteorology* 220: 83–89. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.01.011>
- Arend, M., A. Brem, T.M. Kuster, M.S. Günthardt-Goerg, 2013: Seasonal photosynthetic responses of European oaks to drought and elevated daytime temperature. *Plant Biology* 15: 169–176. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2012.00625.x>
- Aspelmeier, S., 2001: Genotypic variation in drought response of silver birch (*Betula pendula* Roth). Doktorski rad, Die Fakultäten der Georg-August-Universität Göttingen, Njemačka.
- Bacci, L., M. De Vincenzi, B. Rapi, B. Arca, F. Benincasa, 1998: Two methods for the analysis of colorimetric components applied to plant stress monitoring. *Computers and Electronics in Agriculture* 19: 167–186. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(97\)00042-2](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(97)00042-2)
- Backes, K., C. Leuschner, 2000: Leaf water relations of competitive *Fagus sylvatica* and *Quercus petraea* trees during 4 years differing in soil drought. *Canadian Journal of Forest Research* 30: 335–346. <https://doi.org/10.1139/x99-205>
- Berthars, M., B. Schofes, 1999: Photosynthetic pigment metabolism in plants during stress. U (Pessaraki, M., ur.): *Handbook of Plant and Crop Stress*, Second Edition. Marcel Dekker, Inc., New York, Basel, pp. 527–544.
- Biswall, B., 1995: Carotenoid catabolism during leaf senescence and its control by light. *Journal of Photochemistry and Photobiology* 30: 3–14. [https://doi.org/10.1016/1011-1344\(95\)07197-A](https://doi.org/10.1016/1011-1344(95)07197-A)
- Bonneville, M., J.W. Fyles, 2006: Assessing variations in SPAD-502 chlorophyll meter measurements and their relationships with nutrient content of trembling aspen foliage. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 37: 525–539. <https://doi.org/10.1080/00103620500449385>
- Bréda, N., R. Huc, A. Granier, E. Dreyer, 2006: Temperate forest trees and stands under severe drought: A review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. *Annals of Forest Science* 63 (6): 625–644. <https://doi.org/10.1051/forest:2006042>
- Brown, L.A., O. Williams, J. Dash, 2022: Calibration and characterisation of four chlorophyll meters and transmittance spectroscopy for non-destructive estimation of forest leaf chlorophyll concentration. *Agricultural and Forest Meteorology* 323: 109059. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109059>
- Buras, A., A. Rammig, C.S. Zang, 2020: Quantifying impacts of the 2018 drought on European ecosystems in comparison to 2003. *Biogeosciences* 17 (6): 1655–1672. <https://doi.org/10.5194/bg-17-1655-2020>
- Cate, T.M., T.D. Perkins, 2003: Chlorophyll content monitoring in sugar maple (*Acer saccharum*). *Tree Physiology* 23: 1077–1079. <https://doi.org/10.1093/treephys/23.15.1077>
- Cerovic, Z.G., G. Masdoumier, N.B. Ghazlen, G. Latouche, 2012: A new optical leaf-clip meter for simultaneous non-destructive assessment of leaf chlorophyll and epidermal flavonoids. *Physiologia Plantarum* 146: 251–260. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2012.01639.x>
- Choudhury, N., R. Behera, 2001: Photoinhibition of photosynthesis: Role of carotenoids in photoprotection of chloroplast constituents. *Photosynthetica* 39: 481–488. <https://doi.org/10.1023/A:1015647708360>
- Coste, S., C. Baraloto, C. Leroy, É. Marcon, A. Renaud, A.D. Richardson, J.-C. Roggy, H. Schimann, J. Uddling, B. Hérault, 2010: Assessing foliar chlorophyll contents with the SPAD-502 chlorophyll meter: a calibration test with thirteen tree species of tropical rainforest in French Guiana. *Annals of Forest Science* 67: 607. <https://doi.org/10.1051/forest/2010020>
- Croft, H., J.M. Chen, X. Luo, P. Bartlett, B. Chen, R.M. Staebler, 2017: Leaf chlorophyll content as a proxy for leaf photosynthetic capacity. *Global Change Biology* 23: 3513–3524. <https://doi.org/10.1111/gcb.13599>
- Demarez, V., J.P. Gastellu-Etchegorry, E. Mougin, G. Marty, C. Poisy, E. Dufrene, V. Le Dantec, 1999: Seasonal variation of leaf chlorophyll content of a temperate forest. Inversion of the PROSPECT model. *International Journal of Remote Sensing* 20: 879–894. <https://doi.org/10.1080/014311699212975>
- Dong, T., J. Shang, J.M. Chen, J. Liu, B. Qian, B. Ma, M.J. Morrison, C. Zhang, Y. Liu, Y. Shi, H. Pan, G. Zhou, 2019: Assessment of portable chlorophyll meters for measuring crop leaf chlorophyll concentration. *Remote Sensing* 11: 2706. <https://doi.org/10.3390/rs11222706>
- Epron, D., E. Dreyer, 1993: Long-term effects of drought on photosynthesis of adult oak trees [*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus robur* L.] in a natural stand. *New Phytologist* 125: 381–389. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1993.tb03890.x>
- Esteban, R., O. Barrutia, U. Artetxe, B. Fernández-Marín, A. Hernández, J.I. García-Plazaola, 2015: Internal and external factors affecting photosynthetic pigment composition in plants: A meta-analytical approach. *New Phytologist* 206: 268–280. <https://doi.org/10.1111/nph.13186>
- Farooq, M., M. Hussain, A. Wahid, K. Siddique, 2012: Drought stress in plants. U (Aroca, R., ur.): *Plant responses to drought stress: From morphological to molecular features*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 1–33. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-32653-0>

- Filimon, V.R., R. Filimon, L. Rotaru, 2014: Characterization of some *Vitis vinifera* L. indigenous varieties by analysis of leaf photosynthetic pigments. *Bulletin UASVM Horticulture* 71 (2): 246–255. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-hort:10278>
- Gallé, A., U. Feller, 2007: Changes of photosynthetic traits in beech saplings (*Fagus sylvatica*) under severe drought stress and during recovery. *Physiologia Plantarum* 131: 412–421. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.00972.x>
- García-Plazaola, J.I., R. Esteban, K. Hormaetxe, B. Fernández-Marín, J.M. Becerril, 2008: Photoprotective responses of Mediterranean and Atlantic trees to the extreme heat-wave of summer 2003 in Southwestern Europe. *Trees – Structure and Function* 22: 385–392. <https://doi.org/10.1007/s00468-007-0199-y>
- Gitelson, A.A., Y. Zur, O.B. Chivkunova, M.N. Merzlyak, 2002: Assessing carotenoid content in plant leaves with reflectance spectroscopy. *Photochemistry and Photobiology* 75 (3): 272–281. [https://doi.org/10.1562/0031-8655\(2002\)0750272AC-CIPL2.0.CO2](https://doi.org/10.1562/0031-8655(2002)0750272AC-CIPL2.0.CO2)
- Guo, Y.Y., H.Y. Yu, D.S. Kong, F. Yan, Y.J. Zhang, 2016: Effects of drought stress on growth and chlorophyll fluorescence of *Lycium ruthenicum* Murr. seedlings. *Photosynthetica* 54: 524–531. <https://doi.org/10.1007/s11099-016-0206-x>
- Hu, F., Y. Zhang, J. Guo, 2023: Effects of drought stress on photosynthetic physiological characteristics, leaf microstructure, and related gene expression of yellow horn. *Plant Signaling & Behavior* 18 (1): e2215025. <https://doi.org/10.1080/15592324.2023.2215025>
- IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 929169164X, IPCC, Geneva, Switzerland. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>
- Jifon, J.L., J.P. Syvertsen, E. Whaley, 2005: Growth environment and leaf anatomy affect nondestructive estimates of chlorophyll and nitrogen in Citrus sp. leaves. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 130: 152–158. <https://doi.org/10.21273/JASHS.130.2.152>
- Lauteri, M., A. Scartazza, M.C. Guido, E. Brugnoli, 1997: Genetic variation in photosynthetic capacity, carbon isotope discrimination and mesophyll conductance in provenances of *Castanea sativa* adapted to different environments. *Functional Ecology* 11: 675–683. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.1997.00140.x>
- Li, G., D. Aubrey, H. Sun, 2017: Predictive capability of a leaf optical meter for determining leaf pigment status during senescence. *Photosynthetica* 55: 543–552. <https://doi.org/10.1007/s11099-016-0678-8>
- Li, Y., C. Liu, J. Zhang, H. Yang, L. Xu, Q. Wang, L. Sack, X. Wu, J. Hou, N. He, 2018a: Variation in leaf chlorophyll concentration from tropical to cold-temperate forests: Association with gross primary productivity. *Ecological Indicators* 85: 383–389. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.10.025>
- Li, Y., N. He, J. Hou, L. Xu, C. Liu, J. Zhang, Q. Wang, X. Zhang, X. Wu, 2018b: Factors influencing leaf chlorophyll content in natural forests at the biome scale. *Frontiers in Ecology and Evolution* 6: 64. <https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00064>
- Lichtenthaler, H.K., 1987: Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology* 148: 350–382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
- Mafakheri, A., A. Siosemardeh, B. Bahrmanjad, P. Struik, Y. Sohrabi, 2010: Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Australian Journal of Crop Science* 4: 580–585.
- Mahajan, M., P.K. Pal, 2016: Growing conditions influence non-destructive estimation of chlorophyll in leaves of *Vale-riana jatamansi*. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants* 3 (3): 131–135. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2016.05.005>
- Meskini-Vishkaee, F., M.H. Mohammadi, M.R. Neyshabouri, F. Shekari, 2015: Evaluation of canola chlorophyll index and leaf nitrogen under wide range of soil moisture. *International Agrophysics* 29 (1): 83–90. DOI: <https://doi.org/10.1515/intag-2015-0014>
- Meyer, B.F., A. Buras, A. Rammig, C.S. Zang, 2020: Higher susceptibility of beech to drought in comparison to oak. *Dendrochronologia* 64: 125780. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2020.125780>
- Mulero, G., H. Bacher, U. Kleiner, Z. Peleg, I. Herrmann, 2022: Spectral estimation of in vivo wheat chlorophyll a/b ratio under contrasting water availabilities. *Remote Sensing* 14 (11): 2585. <https://doi.org/10.3390/rs14112585>
- Munné-Bosch, S., L. Alegre, 2000: Changes in carotenoids, tocopherols and diterpenes during drought and recovery, and the biological significance of chlorophyll loss in *Rosmarinus officinalis* plants. *Planta* 210: 925–931. <https://doi.org/10.1007/s004250050699>
- Palett, K.E., A.J. Young, 1993: Carotenoids. U (Alscher, R.G., J.L. Hess, ur): Antioxidants in Higher Plants. CRC Press Inc., Boca Raton, London, New York, pp. 60–89. <https://doi.org/10.1201/9781315149899>
- Parry, C., J.M. Blonquist, B. Bugbee, 2014: In situ measurement of leaf chlorophyll concentration: analysis of the optical/absolute relationship. *Plant, Cell & Environment* 37: 2508–2520. <https://doi.org/10.1111/pce.12324>
- Percival, G.C., I.P. Keary, K. Noviss, 2008: The potential of a chlorophyll content SPAD meter to quantify nutrient stress in foliar tissue of Sycamore (*Acer pseudoplatanus*), English oak (*Quercus robur*), and European beech (*Fagus sylvatica*). *Arboriculture & Urban Forestry* 34: 89–100.
- Perić, S., M. Tijardović, M. Oršanić, J. Margaletić, 2009: Rasad- nička proizvodnja i važnost šumskog reprodukcijskog materijala u RH. Radovi Hrvatski šumarski institut 44 (1): 17–27.
- Pretzsch, H., K. Bielak, J. Block, A. Bruchwald, J. Dieler, H.P. Ehrhart, U. Kohnle, J. Nagel, H. Spellmann, M. Zasada i dr., 2013: Productivity of mixed versus pure stands of oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus robur* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) along an ecological gradient. *European Journal of Forest Research* 132: 263–280. <https://doi.org/10.1007/s10342-012-0673-y>
- Pšidová, E., L. Ditmarová, G. Jamnická, J. Váľka, D. Gömöry, 2013: Assessment of the impact of drought stress on particular biochemical and physiological characteristics of beech saplings leaves from different provenances. *Folia Oecologica* 40: 97–106.
- Raftoyannis, Y., K. Radoglou, 2002: Physiological responses of beech and sessile oak in a natural mixed stand during a dry summer. *Annals of Botany* 89 (6): 723–730. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf133>
- Richardson, A.D., S.P. Duigan, G.P. Berlyn, 2002: An evaluation of non-invasive methods to estimate foliar chlorophyll content. *New Phytologist* 153: 185–194. <https://doi.org/10.1046/j.0028-646X.2001.00289.x>
- Sack, L., P.D. Cowan, N. Jaikumar, N.M. Holbrook, 2003: The 'hydrology' of leaves: co-ordination of structure and function in temperate woody species. *Plant, Cell and Environment* 26: 1343–1356. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2003.01058.x>
- Saha, S., H.H. Begum, S. Nasrin, R. Samad, 2020: Effects of drought stress on pigment and protein contents and antioxidant enzyme activities in five varieties of rice (*Oryza sativa* L.). *Bangladesh Journal of Botany* 49 (4): 997–1002. <https://doi.org/10.3329/bjb.v49i4.52516>
- Sánchez-Gómez, D., T.M. Robson, A. Gascó, E. Gil-Pelegrín, I. Aranda, 2013: Differences in the leaf functional traits of six beech (*Fagus sylvatica* L.) populations are reflected in their response to water limitation. *Environmental and Experimental Botany* 87: 110–119. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.09.011>
- Schmal, J.L., D.F. Jacobs, C. O'Reilly, 2011: Nitrogen budgeting and quality of exponentially fertilized *Quercus robur* seedlings in Ireland. *European Journal of Forest Research* 130: 557–567. <https://doi.org/10.1007/s10342-010-0443-7>
- Senf, C., A. Buras, C.S. Zang, A. Rammig, R. Seidl, 2020: Excess forest mortality is consistently linked to drought across Europe. *Nature Communications* 11 (1): 6200. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19924-1>

- Sever, K., S. Bogdan, Ž. Škvorc, M.Z. Ostrogović Sever, J. Franjić, 2016: Estimation of leaf nitrogen concentrations in *Quercus robur* L. using the CCM-200 portable chlorophyll meter for different patterns of vegetative growth and acorn production. *New Forests* 47: 513–527. <https://doi.org/10.1007/s11056-016-9528-6>
- Sever, K., S. Bogdan, J. Franjić, Ž. Škvorc, 2018: Nedestruktivna procjena koncentracije fotosintetskih pigmenata u lišću hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.). *Šumarski list* 142 (5-6): 247–257. <https://doi.org/10.31298/sl.142.5-6.6>
- Sever, K., A. Vukmirović, L. Hodak, S. Bogdan, I. Katičić Bogdan, D. Krstonošić, T. Karažija, J. Franjić, Ž. Škvorc, 2022: Funkcionalna prilagodba prirodnog pomlatka hrasta kitnjaka i obične bukve na različite stanišne prilike. *Šumarski list* 146 (7-8): 293–307. <https://doi.org/10.31298/sl.146.7-8.2>
- Silla, F., A. González-Gil, M.E. González-Molina, S. Mediavilla, A. Escudero, 2010: Estimation of chlorophyll in *Quercus* leaves using a portable chlorophyll meter: effects of species and leaf age. *Annals of Forest Science* 67: 108. <https://doi.org/10.1051/forest/2009093>
- Taiz, L., E. Zeiger, 2006: *Plant Physiology*. Fourth Edition. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, Massachusetts.
- Thomas F.M., S. Preusser, B. Backes, W. Werner, 2024: Leaf traits of Central-European beech (*Fagus sylvatica*) and oaks (*Quercus petraea/robur*): Effects of severe drought and long-term dynamics, *Forest Ecology and Management* 559: 121823. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.121823>
- Thomas, F.M., T. Gausling, 2000: Morphological and physiological responses of oak seedlings (*Quercus petraea* and *Q. robur*) to moderate drought. *Annals of Forest Science* 57: 325–333. <https://doi.org/10.1051/forest:2000123>
- Uddling, J., J. Gelang-Alfredsson, K. Piikki, H. Pleijel, 2007: Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynthesis Research* 91: 37–46. <https://doi.org/10.1007/s11120-006-9077-5>
- van den Berg, A.K., T.D. Perkins, 2004: Evaluation of a portable chlorophyll meter to estimate chlorophyll and nitrogen contents in sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.) leaves. *Forest Ecology and Management* 200: 113–117. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.06.005>
- Vukelić, J., 2012: Šumska vegetacija Hrvatske. Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet i Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb.
- Weithmann, G., B. Schuldt, R.M. Link, D. Heil, S. Hoeber, H. John, H. Müller-Haubold, L.M. Schüller, K. Schumann, C. Leuschner, 2022: Leaf trait modification in European beech trees in response to climatic and edaphic drought. *Plant Biology* 24: 1272–1286. <https://doi.org/10.1111/plb.13366>
- WinFolia™, 2001: WinFOLIA ver. PRO 2005b. Regent Instruments Inc. Quibec City, Canada.

SUMMARY

The goals of this study were to investigate the effects of species and drought on the concentration of photosynthetic pigments (chlorophyll and carotenoids) and their reciprocal ratios in the leaves of common beech and sessile oak. Additionally, the study aimed to assess how drought influences the accuracy of non-destructive estimates of total chlorophyll concentration using a portable optical chlorophyll meter (MC-100). The research was conducted on natural saplings of common beech and sessile oak, which were regularly watered during the 2022 growing season and exposed to drought during the 2023 growing season. Leaves were collected from these saplings in both years, and the chlorophyll index was measured in situ using the chlorophyll meter. The collected leaves were then analyzed in the laboratory to determine their morphological traits and the concentration of photosynthetic pigments, specifically chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophylls (which are crucial for electron and/or energy transfer within photosystems I and II), and carotenoids (which primarily protect the photosynthetic apparatus from photooxidative damage). Given that common beech exhibits more mesophilic traits while sessile oak shows more xerophytic traits, it was hypothesized that drought would have a more pronounced negative effect on the concentration of photosynthetic pigments in common beech compared to sessile oak leaves.

The results of factorial ANOVA and descriptive statistics indicated that drought led to a decrease in chlorophyll concentration and an increase in carotenoid concentration in the leaves of both species. However, during the dry year of 2023, the increase in carotenoid concentration was more pronounced in common beech compared to sessile oak, while chlorophyll concentrations and the reciprocal ratios of chlorophyll to carotenoid concentrations were similar in the leaves of both species. This suggests that enhanced carotenoid production during dry periods may help common beech mitigate photooxidative damage to chloroplasts and/or counteract a significant decrease in chlorophyll concentration. Consequently, it is possible that common beech maintains its competitiveness relative to the more drought-resistant sessile oak due to its more efficient carotenoid production during drought.

The results of ANCOVA and regression analysis revealed that the year or drought did not significantly affect the parameters of the calibration equations describing the relationship between the chlorophyll index and total chlorophyll concentration in the leaves of common beech and sessile oak. This implies that the chlorophyll meter MC-100, when used with appropriate calibration equations, is a reliable tool for estimating total chlorophyll concentration in the leaves of both species, irrespective of drought conditions.

KEY WORDS: chlorophyll meter, chlorophyll index, chlorophylls, carotenoids, *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea*

ORNITOFAUNA PRVOG DOBNOG RAZREDA ŠUME HRASTA LUŽNJAKA SREDNJE POSAVINE

ORNITHOFAUNA IN THE FIRST AGE CLASS OF THE PEDUNCULATE OAK FOREST IN CENTRAL POSAVINA

Matej KNEZIČIĆ^{1*}, Toni SPITZ¹, Ivan Juraj ČEHULIĆ¹, Karlo BUKAL¹, Kristijan TOMLJANOVIĆ¹

SAŽETAK

Prvi dobni razred jednodobno gospodarenih šuma, koji obuhvaća sastojine starosti do 20 godina, pokazuje značajne razlike u stanišnim prilikama u odnosu na starije dobne razrede, što ga čini pogodnim staništem za pojedine vrste ptica. Kako bi se utvrdila pogodnost tih staništa, istraživanje ornitofaune provedeno je na području prvog dobno razreda šume hrasta lužnjaka u gospodarskoj jedinici Opeke koja je dio nizinskog šumskog kompleksa Lonjskog polja. Monitoring je proveden metodom vizualne i audio identifikacije u kombinaciji s foto zamkama. Istraživanje je provedeno od travnja do lipnja 2023. godine. Monitoringom je utvrđena prisutnost 19 vrsta ptica, od kojih su dvije vrste (bjelovrata muharica i rusi svračak) na Prilogu 1 Direktive o pticama. Za vrijeme monitoringa u preletu je uočena jedinka škanjca. Ona se također redovito zadržavala na rubnim stablima obližnjih odjela i promatrala površinu istraživanog odsjeka. Zanimljiva je pojavnost velikog djetlića koji je uočavan tijekom cijelog istraživanja, što sugerira da mlada sastojina hrasta lužnjaka može zadovoljiti neke od njegovih životnih potreba. Vrste ptica rubnih staništa poput rusog svračka među najugroženijim su skupinama ptica u Europi i zbog intenziviranja poljoprivrednih aktivnosti smanjuju im se dostupna prikladna staništa. Pojava rusog svračka ukazuje na potencijal mladih sastojina kao alternativnih staništa za te vrste ptica. Prisustvo tih vrsta u sastojinama prvog dobno razreda sugerira da pomlađivanje šuma oplodnim sječama može stvoriti djelomično pogodna staništa za te vrste. Šumski ekosustavi poplavnih područja poput Lonjskog polja ne mogu u potpunosti zamijeniti primarna staništa tih vrsta, međutim utvrđeno je kako pojedine ugrožene vrste koriste prvi dobni razred kao svoje stanište. Prilikom planiranja gospodarskih aktivnosti trebalo bi izbjegavati osjetljive faze za razvoj ptica. Ovo istraživanje naglašava važnost razumijevanja i očuvanja ornitofaune u mladim sastojinama hrasta lužnjaka. Proširivanje znanja o ovim ekosustavima može doprinijeti razvoju učinkovitijih smjernica za gospodarenje šumama koje će podržavati bioraznolikost i očuvanje ugroženih vrsta.

KLJUČNE RIJEČI: jednodobno gospodarenje šumama, prvi dobni razred, hrast lužnjak, ornitofauna, zaštićene vrste, bioraznolikost, Direktiva o pticama, Natura 2000

¹ Matej Knezičić, mag. ing. silv., Toni Spitz, mag. ing. silv., Ivan Juraj Čehulić, mag. ing. silv., Karlo Bukal, mag. ing. silv., izv. prof. dr. sc. Kristijan Tomljanović, Sveučilište u Zagrebu Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Zagreb

* dopisni autor: Matej Knezičić, e-mail: mknezicic@gmail.com

UVOD

INTRODUCTION

Šume su složeni ekosustavi kojima se nastoji gospodariti po načelu potrajnosti. Uzgajanje i obnova šuma obuhvaća radove kojima se unutar šumskih ekosustava namjerno izazivaju određene promjene koje utječu na površinu, strukturu i sastav vrsta u šumskim ekosustavima (Jones i dr. 2022). Prilikom izvođenja samih operacija u svrhu njege, obnove i iskorištavanja šuma unutar staništa dolazi do određenog uznemiravanja ptica i sisavaca, odnosno šumske faune općenito. Same stanišne promjene do kojih neminovno dolazi prilikom njege i obnove šuma mogu se pozitivno ili negativno odraziti na trofičke, zaklonske i sve ostale okolišne prilike ornitofaune. Negativni utjecaji mogu se očitovati u smanjivanju udjela pojedinih vrsta ili razvojnih stadija stabala koje ptice koriste za gniježđenje, sklanjanje ili ishranu dok se pozitivne mogu očitovati u pojavi otvorenijih površina, nižim ili rjeđim krošnjama, pojavi novih vrsta važnih za ishranu i sl. Najčešći način gospodarenja šumama u Hrvatskoj je jednodobno ili regularno gospodarenje. Regularno gospodarene sastojine se prema dobnoj strukturi svrstavaju u dobne razrede čiji je raspon 20 godina za ophodnje iznad 60 godina. Ophodnja hrasta lužnjaka je 140 godina. Prema tome je starost sastojina prvog dobnog razreda do 20 godina. To je vrlo dinamično vrijeme u razvoju sastojine u kojem dolazi do izraženog visinskog prirasta, a stanišne prilike su značajno drugačije od onih u sastojinama ostalih dobni razreda te se brzo mijenjaju na godišnjoj razini. Zbog takvih razlika, sastojine prvog dobnog razreda mogu biti odgovarajuće stanište za neke vrste ptica koje se ne pojavljuju u sastojinama starijih dobni razreda.

Prema Direktivi Europskog parlamenta i Vijeća o očuvanju divljih ptica koje prirodno obitavaju na europskom državnom području država članica (Direktiva 2009/147/EC) potrebna je dugoročna zaštita prirodnih resursa. Smatra se da bioraznolikost povećava otpornost ekosustava (Virah-Sawmy i dr. 2009). Ornitofauna u Hrvatskoj danas je izložena brojnim negativnim ekološkim i biološkim čimbenicima koji mogu ugroziti populacije ptica kao i čitave ekosustave. Ugrožene vrste suočavaju se s brojnim prijetnjama, uključujući onima izazvanim globalnim promjenama (de Villemereuil i dr. 2019). Nagle klimatske i druge globalne promjene uzrokuju promjene u distribuciji ptica, biljaka i drugih organizama, što rezultira novim ekološkim interakcijama (Virah-Sawmy i dr. 2009).

Šumski ekosustavi, kao staništa brojnih vrsta ptica, izuzetno su složeni i teško je steći adekvatno razumijevanje cjelokupne bioraznolikosti. To je dovelo do razvoja

„predstavnik” ili „zamjena” koje pojednostavljaju i predstavljaju bioraznolikost te pomažu u upravljanju (Lindenmayer i dr. 2014). Ptice su općenito prihvaćene kao indikatori bioraznolikosti budući da predstavljaju vrlo opsežno istraženu skupinu organizama, a često puta mogu poslužiti i kao zamjena za ostale elemente bioraznolikosti (Lešo i dr. 2019). Također se smatraju jednim od indikatora potrajnog gospodarenja (Wolfslehner i Linser 2023). Sveprisutnost šumskih površina nastalih sječom i velika vjerojatnost da će se ta praksa koristiti i u doglednoj budućnosti sugeriraju da je njihov potencijal za pružanje alternativnih staništa poljskim ptičjim vrstama vrijedan razmatranja iz perspektive zaštite prirode (Ram i dr. 2020).

Ornitofauna je čest predmet istraživanja u Hrvatskoj. Međutim, utjecaj oplodnih sječa i vrijednost staništa prvog dobno razreda hrastovih šuma u očuvanju ptičjih vrsta još je uvijek nedovoljno istražena. Slijedom iznesenog, cilj ovog istraživanja je utvrditi pogodnost prvog dobno razreda šuma hrasta lužnjaka kao pogodnog staništa za pridolazak ornitofaune područja. Poseban naglasak stavljen je na vrste iz Priloga 1 Direktive o pticama (Direktiva 2009/147/EC) koje su predmet posebnih mjera očuvanja koje se odnose na njihova staništa. Dobivene spoznaje, osim doprinosa poznavanju stanišne preferabilnosti ciljanih vrsta, mogu biti polazište za buduća istraživanja i donošenje smjernica za planiranje šumskogospodarskih zahvata u budućnosti.

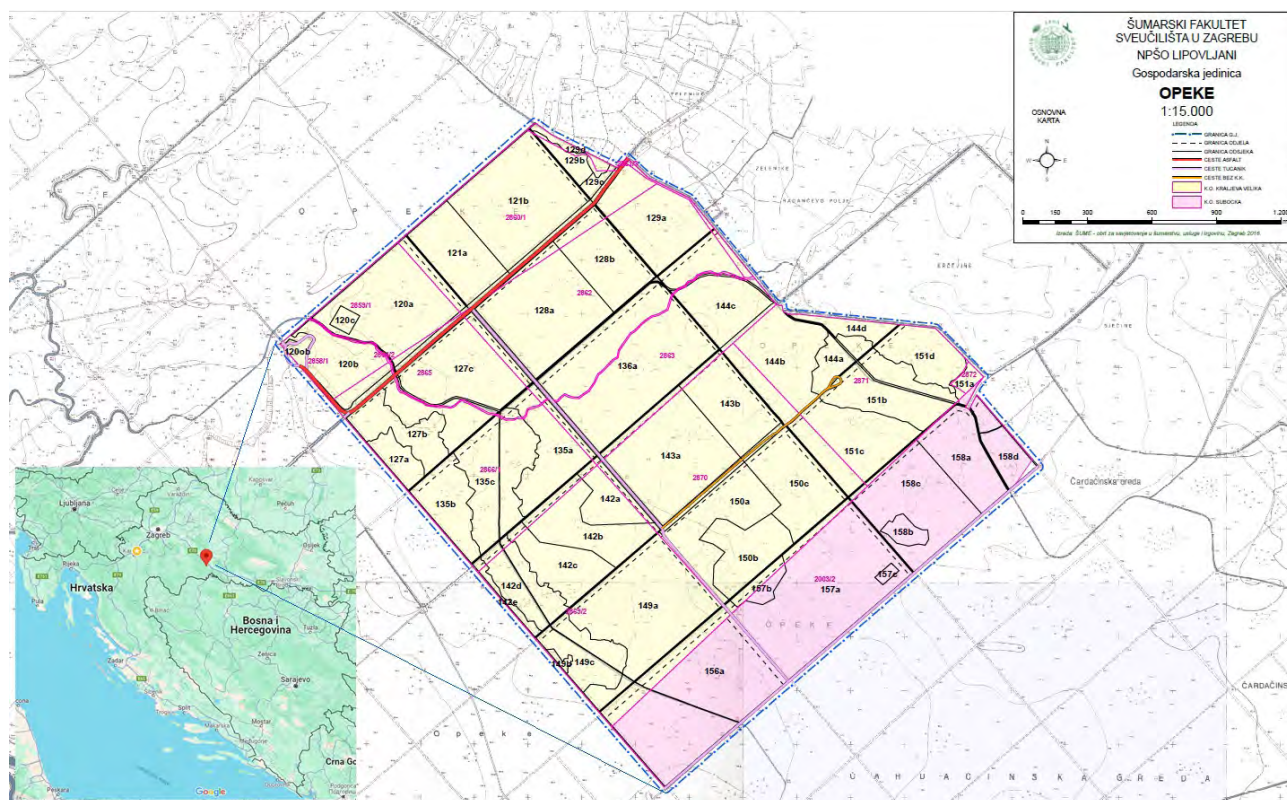
MATERIJALI I METODE

MATERIALS AND METHODS

Područje istraživanja – Study area

Za područje istraživanja odabrane su mlade mješovite sastojine hrasta lužnjaka i poljskog jasena u odsjecima 142a i 142b gospodarske jedinice Opeke (Slika 1). Gospodarska jedinica Opeke je, uz gospodarsku jedinicu Lubardenik, dio nastavno-pokusnog šumskog objekta Lipovljani te njome od 1949. godine gospodari Sveučilište u Zagrebu Fakultet šumarstva i drvne tehnologije. Nalazi se na poplavnom području rijeke Save te je dio nizinskog šumskog kompleksa u sklopu Lonjskog polja. Površine je 547,27 ha, a karakterizira ju velika raznolikost mikoreljefa u obliku mikrouzvisina, odnosno greda te mikroudubina, odnosno niza i bara. Približno 35 % područja čine grede, 35 % nize, a 30 % bare.

Sastojine u odsjecima 142a i 142b spadaju u uređajni razred sjemenjača hrasta lužnjaka, a starosti su 14 godina. Površina odsjeka 142a je 5,97 ha, nadmorska visina je 93 m, a nagib terena je 0°. Tipovi tla koji se pojavljuju su euglej i pseudoglej. Površina odsjeka 142b je 10,87 ha, nadmorska visina je 94 m, nagib terena je



Slika 1. Osnovna karta GJ Opeke. Izvor: Program za gospodarenje šumama posebne namjene, Nastavno-pokusni šumski objekt Lipovljani, gospodarska jedinica Opeke, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije.

Figure 1 Base map of Opeke Forest Management Unit. Source: Forest Management Program for Special Purpose Forests, Educational and Experimental Forest Facility Lipovljani, Opeke Forest Management Unit, Faculty of Forestry and Wood Technology.

također 0°, a tip tla je pseudoglej. Fitocenozu tih odsjeka čine šuma poljskog jasena s kasnim drijemovcem, subasocijacija s crnom johom (*Leucojo aestivi-Fraxinetum angustifoliae* subass. *alnetosum glutinosae* Glavač 1959) i šuma hrasta lužnjaka i običnog graba, tipična subasocijacija (*Carpino betuli-Quercetum roboris* subass. *typicum* (Anić 1959) Rauš 1971). S obzirom na neposrednu blizinu tih odsjeka koji nisu odvojeni prostornom granicom te njihove sličnosti, u svrhu istraživanja promatrani su kao cjelina.

Monitoring i obrada podataka – Monitoring and data analysis

U odabranim odsjecima postavljene su pokusne plohe i određene su četiri točke s kojih je provoden monitoring vizualnom i audio identifikacijom. Kriteriji za odabir lokacija monitoringa bili su raspored okolnih sastojina te strukturna varijabilnost sastojine. Točka 1 postavljena je uz granicu odsjeka 142a i 135a. U odsjeku 135a prethodno je proveden dovršni sijek te su bili prisutni pomladak hrasta lužnjaka i pričuvci. Točka 2 postavljena je unutar odsjeka 142a na progali. Točka 3 postavljena je unutar odsjeka 142b na mjestu s potpunim sklopom te se nalazila u blizini foto zamke. Točka 4 postavljena je uz granicu odsjeka 142b prema odsjeku 149a u kojem se nalazila mješovita sastojina hrasta lužnjaka i poljskog jasena s običnim grabom starosti 132 godine.

Monitoring je provoden vizualnom i audio identifikacijom u razdoblju od travnja do lipnja 2023. godine. U skladu s mogućnostima boravka na terenu, dinamika terenskih istraživanja unaprijed je određena te su istraživanja provedena neovisno o uvjetima na terenu. U cilju evidentiranja što većeg broja različitih vrsta ptica na području istraživanja neovisno o njihovoj brojnosti, monitoring je paralelno provoden na sve četiri točke prilikom jednog izlaska na teren. Ukupno su napravljena četiri jutarnja i četiri večernja izlaska na teren. Vremensko trajanje jutarnjeg monitoringa bilo je četiri sata, a večernjeg dva sata. Vrijeme početka i završetka prilagođeno je dnevnoj aktivnosti ptica, pri čemu je početak jutarnjeg monitoringa bio u zoru, a kraj večernjeg monitoringa nakon zalaska sunca. Na točki 3 također je postavljena foto zamka s mamcima u obliku kugli napravljenih od mješavine prerađevine biljnog porijekla, masti i ulja, sjemenki, žitarica i minerala. Kontrola foto zamke obavljana je svaki dan terenskog istraživanja, a mamci su nadomještani po potrebi. Uz opažene vrste su navedeni statusi učestalosti u Hrvatskoj prema Svensson i dr. (2018) i stanište prema PECBMS (2023), pri čemu treba naglasiti da stanišna kategorija „Livada“ uključuje i vrste rubnih staništa. Rezultati su uspoređeni s rezultatima prethodnog istraživanja provedenog na istom području (Kralj 2000). Za osmatranje korišten je tele spektiv Bushnel legend

ultra HD 5 – 45×60, foto zamka Wildgame Innovations rezolucije 12 MP. Foto zamka aktivirana je pokretima, a najmanji interval između snimki bio je 45 sekundi. U svrhu snimanja zvuka korišteni su pametni telefoni. Za determinaciju vrsta korišteni su priručnik (Svensson i dr. 2018), baze podataka dostupne na stranicama Cornell Lab of Ornithology (Cornell University 2023a) te aplikacija Merlin Bird ID (Cornell University 2023b). Prikupljeni podaci o vrstama i tablična obrada podataka izrađeni su pomoću programa Microsoft Excel

(Microsoft Corporation 2018). Kartografski prikazi izrađeni su pomoću QGIS 3.34 (QGIS Development Team 2023).

REZULTATI RESULTS

Tijekom istraživanja ukupno je identificirano 19 vrsta ptica (Tablica 1). Obradom fotografija s foto zamke identificirane su sveukupno četiri vrste, od kojih je jedna zabilježena isključivo foto zamkom.

Tablica 1. Ukupni rezultati monitoringa.
Table 1 Overall results of monitoring.

Znanstveni naziv <i>Scientific name</i>	Hrvatski naziv <i>Common name</i>	Status <i>Status</i>	Stanište <i>Habitat</i>	Prilog 1 <i>Annex 1</i>	Teran (mjesec) <i>Field work (month)</i>	Kamera <i>Camera</i>
<i>Ficedula albicollis</i> *	Bjelovrata muharica <i>Collared flycatcher</i>	mG/P	Šuma	da - <i>yes</i>	IV	-
<i>Dendrocopos major</i> *	Veliki djetlić <i>Great spo. Woodpecker</i>	sG	Ostalo	ne - <i>no</i>	V, VI	IV, V, VI
<i>Lanius collurio</i> *	Rusi svračak <i>The red-backed shrike</i>	mG/P	Livada	da - <i>yes</i>	VI	-
<i>Turdus merula</i> *	Kos <i>Eurasian blackbird</i>	s+mG/P/Z	Ostalo	ne - <i>no</i>	IV, V, VI	-
<i>Parus major</i> *	Velika sjenica <i>Great tit</i>	s+mG/P/Z	Ostalo	ne - <i>no</i>	IV, V, VI	VI
<i>Sylvia atricapilla</i> *	Crnokapa grmuša <i>Eurasian blackcap</i>	s+mG/P	Šuma	ne - <i>no</i>	IV, V, VI	-
<i>Erithacus rubecula</i> *	Crvenač <i>European robin</i>	s+mG/P/Z	Ostalo	ne - <i>no</i>	IV, V, VI	-
<i>Phylloscopus collybita</i> *	Zviždak <i>Common chiffchaff</i>	mG/P	Šuma	ne - <i>no</i>	IV, V	-
<i>Fringilla coelebs</i> *	Zeba <i>Chaffinch</i>	s+mG/P/Z	Ostalo	ne - <i>no</i>	IV, V, VI	-
<i>Emberiza citronella</i> *	Žuta strnadica <i>Yellowhammer</i>	s+mG/vrP/vrZ	Livada	ne - <i>no</i>	IV, V, VI	-
<i>Cyanistes caeruleus</i> *	Plavetna sjenica <i>Eurasian blue tit</i>	s+mG/rP/Z	Ostalo	ne - <i>no</i>	IV	-
<i>Sturnus vulgaris</i> *	Čvorak <i>European starling</i>	s+mG/P/vrZ	Livada	ne - <i>no</i>	IV, V	-
<i>Carduelis carduelis</i> *	Češljugar <i>Goldfinch</i>	s+mG/P/Z	Ostalo	ne - <i>no</i>	IV, V	-
<i>Poecile palustris</i> *	Crnoglava sjenica <i>Marsh tit</i>	sG	Šuma	ne - <i>no</i>	V	IV, V, VI
<i>Garrulus glandarius</i> *	Šojka <i>Eurasian jay</i>	sG	Šuma	ne - <i>no</i>	-	IV
<i>Cuculus canorus</i> *	Kukavica <i>Common cuckoos</i>	mG/P	Ostalo	ne - <i>no</i>	VI	-
<i>Turdus philomelos</i> *	Drozd cikelj <i>Song thrush</i>	mG/P/vrZ	Šuma	ne - <i>no</i>	VI	-
<i>Hippolais icterina</i>	Žuti voljić <i>Icterine warbler</i>	vrM/P	Ostalo	ne - <i>no</i>	VI	-
<i>Buteo buteo</i> *	Škanjac <i>Buzzard</i>	s+mG/P/Z	Ostalo	ne - <i>no</i>	IV, V, VI	-

* Vrsta evidentirana istraživanjem gnjezdara šuma hrasta lužnjaka u Hrvatskoj (Kralj 2000). - *A species recorded in a survey of nesting birds in pedunculate oak forests in Croatia (Kralj 2000).*

sG Stanarica, gnjezdara prisutna cijelu godinu - *Resident, nesting species, present year-round.*

mG Selica, gnjezdara koja dio godine ne provodi u Hrvatsko - *Migratory species which does not spend the entire year in Croatia.*

s+mG Gnjezdara, dijelom stanarica, dijelom selica - *Nesting species, partially resident, partially migratory.*

P Preletnica - *Passage migrant species.*

Z Zimovalica - *Wintering species.*

r Lokalna ili rijetka - *Local or rare species.*

vr Vrlo lokalna ili rijetka - *Very local or rare species.*

Šuma - *Forest* Pretežito se nastanjuje na šumskim tipovima staništa - *Mostly inhabits forest habitats.*

Livada - *Grassland* Pretežito se nastanjuje na rubnim, livadnim i poljoprivrednim površinama - *Mostly inhabits forest edges, grasslands and agricultural areas.*

Ostalo - *Other* Nastanjuje se na različitim tipovima staništa - *Inhabits different types of habitats.*

Tijekom ranog proljetnog razdoblja počevši od 21. travnja ukupno je na pokusnim plohama identificirano 15 vrsta ptica. Na dijelovima plohe bila je prisutna niska površinska (poplavna) voda. Najčešće prisutne vrste su bile kos (*Turdus merula*), velika sjenica (*Parus major*), crnokapa grmuša (*Sylvia atricapilla*), zviždak (*Phylloscopus collybita*), zeba (*Fringilla coelebs*) i žuta strnadica (*Emberiza citrinella*). Također su prisutni bili crvendač (*Erithacus rubecula*), bjelovrata muharica (*Ficedula albicollis*) i plavetna sjenica (*Cyanistes caeruleus*). Zabilježen je pjev češljugara (*Carduelis carduelis*) i evidentirano više jedinki čvorka (*Sturnus vulgaris*) koje su na plohi boravile vrlo kratko. Škanjac (*Buteo buteo*) je uočen u preletu. Od vrsta identificiranih kamerom, šojka (*Garullus glandarius*) je zabilježena jedanput dok su crnoglava sjenica (*Poecile palustris*) i veliki djetlić (*Dendrocopos major*) snimljeni više puta.

U svibnju je identificirano 12 vrsta ptica. Na čitavoj plohi bila je prisutna poplavna voda, a visina poplave varirala je između 10 i 20 cm. Često prisutne vrste bile su kos, velika sjenica, crnokapa grmuša, zeba, zviždak, žuta strnadica, crvendač, veliki djetlić i crnoglava sjenica. Veliki djetlić je opažen na točki 3 te se za vrijeme monitoringa često zadržavao u sloju krošanja u potrazi za hranom. Jednom je evidentirano više jedinki čvorka koje su se kratko zadržale na plohi. Škanjac je uočen u preletu nad plohom te se zadržavao na rubnom stablu susjednog odjela. Zabilježen je pjev češljugara. Kamerom je prikupljen velik broj snimki velikog djetlića i crnoglave sjenice te jedna snimka velike sjenice.

Tijekom istraživanja provedenih u lipnju identificirano je 13 različitih vrsta ptica. Poplavna voda nije bila prisutna na plohi. Često prisutne vrste bile su kos, velika sjenica, zeba, crnokapa grmuša, crvendač i žuta strnadica. Kukavica (*Cuculus canorus*) je opažena jednom i kratko je boravila na jednom od solitera u sastojini. Drozd cikelj (*Turdus philomelos*) je opažen jednom i kratko vrijeme je boravio na plohi. Također su opaženi žuti voljić (*Hippolais icterina*) i veliki djetlić u potrazi za hranom. Škanjac je uočen u preletu nad plohom te se kratko zadržao na rubu susjednog odjela. Foto zamkom su zabilježene velika sjenica, crnoglava sjenica i veliki djetlić. Dvije jedinke rusog svračka (*Lanius collurio*) opažene su na točki 1 i često su bile prisutne na rubu plohe (Slika 2). Ustanovljeno je da je to bio par koji se gnijezdio u grmu na rubu susjednog odjela u kojem je prethodno proveden dovršni sijek.

Od svih evidentiranih vrsta, bjelovrata muharica i rusi svračak istaknute su u Prilogu 1 Direktive o pticama (Direktiva 2009/147/EC). Žuti voljić nalazi se u Crvenoj knjizi ptica Hrvatske pod kategorijom „gotovo ugrožene (NT) gnjezdarice” (Tutiš i dr. 2013).



Slika 2. Rusi svračak (*Lanius collurio*) fotografiran u lipnju na točki 1 (autor: Matej Knezičić)

Figure 2 Red-backed shrike (*Lanius collurio*) photographed in June on Point 1 (author: Matej Knezičić)

RASPRAVA I ZAKLJUČCI

DISCUSSION AND CONCLUSION

Klasične metode prebrojavanja jedinki, parova ili jata ptica mogu biti relativno komplicirane i skupe za provedbu te vremenski ograničene (Akçay i dr. 2020). U novije vrijeme opažanje ptica u različite svrhe dovodi do razvoja novih metoda poput audio identifikacije snimanjem (Sprengel i dr. 2016, Lassek 2018, Ventura i dr. 2015 i dr.) ili pak kombinacije više metoda uz korištenje složenih softvera za automatsku obradu prikupljenih podataka (Akçay i dr. 2020, Acarer 2024).

U ovom istraživanju ukupno je evidentirano 19 vrsta ptica. Prilikom vizualnog i audio opažanja identificirano je 18 vrsta, a kamerom su snimljene četiri vrste od kojih jedna nije bila detektirana vizualnim i audio opažanjem. Zasiurno je prisutnost poplavnih voda u prvom dijelu istraživanja provedenog u proljetnom razdoblju utjecala na pojavnost vrsta te je za pretpostaviti da pojedinih godina kada poplava izostaje brojnost i prisustvo pojedinih vrsta na plohama varira. Šojka je jedina vrsta koja nije opažena za vrijeme istraživanja metodom vizualne ili audio identifikacije te je samo jednom snimljena foto zamkom. Od evidentiranih vrsta, dvije se nalaze u Prilogu 1 Direktive o pticama (Direktiva 2009/147/EC), a riječ je o bjelovratoj muharici i rusom svračku. Ukupno 16 evidentiranih vrsta tipično je za šumska staništa te raznolika staništa koja uključuju šume. Tri evidentirane vrste tipične su za rubna staništa, a to su žuta strnadica, čvorak i rusi svračak (PECBMS 2023, Tablica 1).

Uspoređujući rezultate ovog istraživanja s rezultatima prethodnog istraživanja provedenog na istom području (Kralj 2000) ustanovljeno je 18 vrsta ptica uočenih u oba istraživanja (Tablica 1). Jedina vrsta koja nije zabilježena

u prethodnom istraživanju je žuta strnadica. U ovom istraživanju također je zabilježen manji broj vrsta, a većinom su odsutne bile vrste koje se gnijezde u starijim šumskim sastojinama poput brgljeza (*Sitta europaea*), dugokljunog puzavca (*Certhia brachydactyla*), crvenoglavog djetlića (*Dendrocopos medius*), crne žune (*Dryocopus martius*), sive žune (*Picus canus*) i drugih.

Uspoređujući dobivene rezultate s rezultatima prethodnog istraživanja provedenog u starim šumskim sastojinama hrasta lužnjaka u Hrvatskoj, pri čemu su se u obzir uzele samo one vrste evidentirane na području Lipovljana (Tablica 1, Kralj 2000), vidljivo je da su sastojine hrasta lužnjaka prvog dobnog razreda pogodne za vrste koje se specijaliziraju za rubna staništa. Unatoč vremenskom odmaku većem od 20 godina, te vrste su još uvijek prisutne na području istraživanja.

Ekološka specijalizacija smatra se ključnim čimbenikom koji utječe na rizik od izumiranja vrsta (Morelli i dr. 2019). Vrste specijalisti su one čija se brojnost najviše smanjuje u Europi (Morelli i dr. 2020). Prema ukupnom indeksu specijalizacije (Morelli i dr. 2020), rusi svračak je, među opaženim vrstama, vrsta s najvećim indeksom specijalizacije, odnosno djelomični je specijalist za livadne i poljoprivredne površine. Prema istom istraživanju, rusi svračak je jedna od dvije vrste koje imaju negativan populacijski trend na području svih 19 europskih zemalja u kojima je provedeno istraživanje. Populacijski trendovi ostalih evidentiranih vrsta rubnih staništa, čvorka i žute strnadice također su negativni. Razlozi tome su višestruki, a najznačajnijim se smatra gubitak staništa. Negativan utjecaj intenziviranja poljoprivrede na raznolikost ptica i bioraznolikost općenito očituje se uglavnom u korištenju zaštitnih sredstava, smanjenju povoljnih površina za gniježđenje, stradavanju ptica od poljoprivredne mehanizacije te povišenoj stopi predacije (Ostermann 1998, Donald i dr. 2001, Smith i dr. 2005). Prisutnost tih vrsta u sastojini hrasta lužnjaka prvog dobnog razreda sugerira da pomlađivanje šuma oplodnim sječama može stvoriti novo stanište za vrste koje nastanjuju livadne i poljoprivredne površine. Neka istraživanja provedena u sjevernoj Europi idu u prilog navedenoj hipotezi (Lešo i dr. 2019, Bakx i dr. 2020, Ram i dr. 2023).

Detalj koji treba istaknuti je lokacija uočenog gnijezda rusog svračka. Ono se nalazilo na rubu mlade sastojine nakon dovršnog sijeka u grmolikoj vegetaciji. Rusi svračak poznat je po korištenju grmlja za gniježđenje i otvorenih površina za traženje hrane (Söderström i Karlsson 2011, Lislevand 2012, Polak 2012).

Druga tipična vrsta rubnih staništa koja je evidentirana za vrijeme istraživanja je žuta strnadica. Bila je stalno prisutna na plohi tijekom svakog provedenog monitoringa.

Za razliku od rusog svračka, ova vrsta se zadržavala u mladoj sastojini u odjelu 142 starosti 14 godina. Ta vrsta također nije zabilježena u prethodnom istraživanju. Neka istraživanja navode da žuta strnadica u šumskim ekosustavima može nastanjivati područja slična onima koja nastanjuje rusi svračak. Istraživanje provedeno u Švedskoj (Bakx i dr. 2020) pokazuje da je prisutnost žute strnadice na pomladnim površinama nakon čiste sječe proporcionalna udjelu sloja grmlja. Manje pomladne površine toj vrsti nude prostor za gniježđenje, a veće pomladne površine nude više hrane. Još uvijek je nedovoljno istraživanja o izvorima hrane za poljske vrste i vrste rubnih staništa na sječinama. Neka istraživanja pokazuju da na sječinama nema razlika u dostupnosti hrane za odrasle jedinke, ali hrana za mladunce je obilnija na livadama (Söderström i Karlsson 2011).

Jedna od tipičnih šumskih vrsta evidentiranih u ovom istraživanju je veliki djetlić. Djetlići su ptice koje ovise o mrtvom drvu (Fröhlich 2022) u kojem pronalaze hranu. Za gniježđenje koriste zonu debla, a gnijezda su najčešće u dupljama na starim stablima. Stoga im stare šumske sastojine predstavljaju idealno stanište. Tijekom ovog istraživanja na točki 3 učestalo je primijećena jedinka velikog djetlića koja se hranila ličinkama kukaca u krošnjama mladih stabala (Slika 3). Prema tome se može zaključiti da mlada sastojina hrasta lužnjaka može zadovoljiti neke od životnih potreba velikog djetlića te da regularno gospodarena šuma hrasta lužnjaka u svim razvojnim stadijima može u određenoj mjeri zadovoljiti životne potrebe te vrste. Osim velikog djetlića, u potrazi za hranom često je uočavana jedinka škanjca koja je pokazivala zanimanje za rubni dio odjela 142 i površinu odjela 135. Iz toga se može zaključiti da su sastojine prvog dobnog razreda toj vrsti povoljne za lov na organizme kojima se hrani.

Vrste ptica koje imaju određen stupanj specijalizacije za livadne površine spadaju među najugroženije u Europi. Očuvanje drveća i grmlja ključno je za zaštitu raznolikosti poljskih vrsta ptica u poljoprivrednim krajobrazima u kojima dominira uzgoj žitarica (Tschumi i dr. 2020). U nedostatku takvih površina, šumski ekosustavi mogu djelomice zaštititi te vrste pružajući im odgovarajuća staništa u mladim sastojinama. Pri tome treba imati u vidu da, u kontekstu poljskih vrsta ptica, šumski ekosustavi ni u kojem slučaju ne mogu u potpunosti zamijeniti livadne i poljoprivredne površine. Regularno gospodarena šuma u različitim dobnim razredima privremeno pruža stanište različitim vrstama ptica. Prema Przepióra i dr. (2020), oplodna sječa na malim površinama ili preborna sječa mogu povećati bioraznolikost ptica.

Gospodarenje šumama ne smije se prilagođavati samo određenim vrstama, već mora biti što sveobuhvatnije, a glavni prioritet uvijek mora biti očuvanje staništa. Važno je uravnotežiti načine korištenja zemljišta s praksom očuvanja bioraznolikosti i usluga ekosustava čime se postižu zadani ciljevi potrajnog gospodarenja (Knozowski i dr. 2023). Mogu se, u svrhu zaštite prirode, u obzir uzeti i poljske vrste ptica pri planiranju gospodarenja šumama. Neki od segmenata u kojima se to može uzeti u obzir su prostorni raspored i veličine odjela te samo provođenje uzgojnih radova i radova njege. Zahtjevi prema staništu razlikuju se između vrsta. Neke vrste zahtijevaju stanište u obliku starih sastojina, neke vrste su brojnije na većim pomladnim površinama, dok druge preferiraju manje. Neke vrste koje izbjegavaju blizinu šume mogu pronaći odgovarajuće stanište na većim pomladnim površinama. Također treba nastaviti voditi brigu o raznolikosti šumskih vrsta drveća. U prilog tome ide istraživanje provedeno u Poljskoj (Karpińska i dr. 2023) koje pokazuje da neke vrste, uključujući bjelovratu muharicu, za gniježđenje najčešće biraju obični grab (*Carpinus betulus* L.) u mješovitoj šumi hrasta, graba i lipe, a u mješovitoj šumi johe i jasena preferiraju johe (*Alnus* spp.). U vidu treba imati činjenicu da su grmovi, koji su u pravilu vrlo povoljni za neke ugrožene vrste ptica, često uzgojno jače vrste od glavnih vrsta drveća te da neodgovarajuće uzgojne mjere u mladim sastojinama mogu dugoročno umanjiti vrijednost sastojine te brojne usluge ekosustava koje ona pruža. Važna sastavnica gospodarenja šumama je i sprječavanje širenja stranih invazivnih biljnih vrsta za koje je dokazano da smanjuju bioraznolikost i prirodnost staništa (Grzędzicka i Reif 2020), a to kao jednu od negativnih posljedica ima i smanjenje kvalitete staništa za ptice. U tom pogledu, gospodarenje šumama može biti vrlo važno za očuvanje prirodnosti staništa i bioraznolikosti.

Nedovoljno je istraživanja o odnosima između šumskih staništa, poljskih vrsta ptica i vrsta ptica rubnih staništa prisutnih u šumama. Razumijevanje raspodjele resursa između vrsta ključno je za predviđanje mogućeg učinka smanjenja brojnosti vrsta na ekosustav (Villard i Foppen 2018). Buduća istraživanja uspješnosti razmnožavanja vrsta rubnih staništa i poljskih vrsta ptica na pomladnim površinama mogu dati potpuniju procjenu pogodnosti tih površina kao staništa tih vrsta (Ram i dr. 2020). Također su potrebna dodatna istraživanja za razumijevanje utjecaja pomladnih površina na populacijsku dinamiku tih vrsta (Ram i dr. 2023). Istraživanje provedeno u francuskoj močvari Châteauneuf d'Ille-et-Vilaine (Leroy i dr. 2011) dokazuje da bioraznolikost vrapčarki (*Passeriformes*) nije najveća u vlažnim i otvorenim staništima, već je raspodijeljena na raznolika staništa koja uključuju



Slika 3. Veliki djetlić (*Dendrocopos major*) u potrazi za hranom pronalazi mamac postavljen pred foto zamkom u travnju.

Figure 3 Great spotted woodpecker (*Dendrocopos major*) searches for food and finds the bait placed in front of the camera trap in April.

šumska i grmoliku vegetaciju na livadnim površinama. Također potvrđuje da je heterogenost staništa najpovoljnija za bioraznolikost. Pri tome je ključno imati u vidu da prekomjerna fragmentacija staništa nema jednak učinak na sve vrste. Posljedice mogu biti negativne za vrste ptica koje se teže prilagođavaju promjenama u staništima, a najčešće žive u unutrašnjosti šume ili na otvorenim i vlažnim staništima. Nasuprot tome, pozitivan učinak fragmentacije može se uočiti kod prilagodljivih vrsta koje mogu iskoristiti promijenjena i fragmentirana staništa (Tworek 2002).

Ako se u obzir uzmu sve izraženije posljedice klimatskih promjena, negativni populacijski trendovi poljskih vrsta ptica te alarmantni primjeri iz Europe poput činjenice da pomladne površine danas predstavljaju primarno stanište rusog svračka u Švedskoj (Söderström i Karlsson 2011), izgledno je da će u budućnosti sve veći naglasak biti stavljen na važnost potrajnog gospodarenja šumama po prirodnim principima koje uvažava i ispunjava trajnu dobrobit prirode, gospodarstva i društva. Šumski ekosustav ne može u potpunosti preuzeti ulogu staništa nekih ugroženih livadnih vrsta ptica, ali u sastojinama prvog dobnog razreda može određenom dijelu populacija pružiti uvjete za život. U budućnosti se može razmatrati i sveobuhvatnije, potrajno gospodarenje prostorom na razini krajobraza koje bi zahtijevalo suradnju većeg broja znanstvenih i stručnih disciplina te dodatna istraživanja.

LITERATURA

REFERENCES

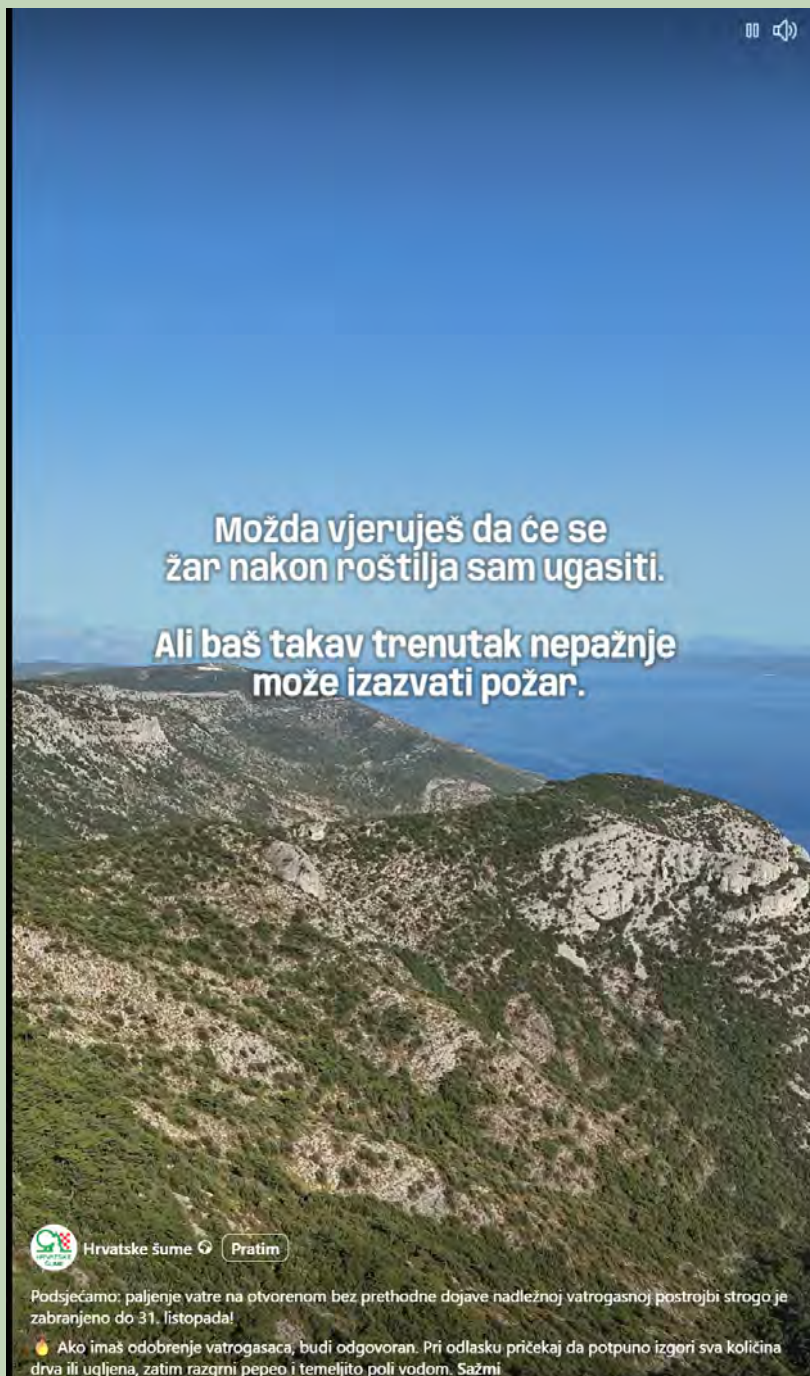
- Acarer, A., 2024: Will cinereous vulture (*Aegypius monachus* L.) become extinct in the forests of Türkiye in the future? *Šumarski list* 148 (7-8): 375-387. <https://doi.org/10.31298/sl.148.7-8.5>
- Akçay, H.G., B. Kabasakal, D. Aksu, N. Demir, M. Öz, A. Erdoğan, 2020: Automated bird counting with deep learning for regional bird distribution mapping. *Animals* 10 (7): 1207. <https://doi.org/10.3390/ani10071207>
- Bakx, T.R.M., Å. Lindström, D. Ram, L.B. Pettersson, H.G. Smith, E.E. van Loon, P. Caplat, 2020: Farmland birds occupying forest clear-cuts respond to both local and landscape features. *Forest Ecology and Management* 478: 118519. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118519>
- Cornell University, 2023a: Cornell Lab of Ornithology. <https://www.birds.cornell.edu/home/>
- Cornell University, 2023b: Merlin Bird ID. <https://merlin.allaboutbirds.org>
- de Villemereuil, P., A. Rutschmann, K.D. Lee, J.G. Ewen, P. Brekke, A.W. Santure, 2019: Little adaptive potential in a threatened passerine bird. *Current Biology* 29 (5): 889-894. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.01.072>
- Direktiva 2009/147/EC: Directive 2009/147/EC of the European Parliament and of the Council of 30 November 2009 on the conservation of wild birds (codified version) <http://data.europa.eu/eli/dir/2009/147/oj>
- Donald, P.F., R.E. Green, M.F. Heath, 2001: Agricultural intensification and the collapse of Europe's farmland bird populations. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 268 (1462): 25-29. <https://doi.org/10.1098/rspb.2000.1325>
- Fröhlich, A., P. Hawryło, M. Ciach, 2022: Urbanization filters woodpecker assemblages: Habitat specialization limits population abundance of dead wood dependent organisms in the urban landscape. *Global Ecology and Conservation* 38: e02220. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02220>
- Grzędzicka, E., J. Reif, 2020: Impacts of an invasive plant on bird communities differ along a habitat gradient. *Global Ecology and Conservation* 23: e01150. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01150>
- 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>
- Karpińska, O., K. Kamionka-Kanclerska, P. Czortek, M. Dyderski, D. Czeszczewik, 2023: Spatial niche segregation between bird species in the Białowieża primeval forest (NE Poland). *Forest Ecosystems* 10: 1000129. <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2023.100129>
- Knozowski, P., J.J. Nowakowski, A.M. Stawicka, A. Górski, B. Dulisz, 2023: Effect of nature protection and management of grassland on biodiversity – Case from big flooded river valley (NE Poland). *Science of the Total Environment* 898: 165280. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165280>
- Kralj, J., 2000: Struktura zajednica ptica gnjezdarica šuma hrasta lužnjaka u Hrvatskoj. Disertacija, Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb.
- Lasseck, M., 2018: Audio-based bird species identification with deep convolutional neural networks. *CLEF (working notes)* 2125.
- Leroy, B., L. Morel, M.C. Eybert, F. Ysnel, A. Georges, 2011: Rehabilitation project of a managed marsh: Biodiversity assessment of different management measures. *Procedia Environmental Sciences* 9: 96-103. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.11.016>
- Lešo, P., R. Kropil, Ł. Kajtoch, 2019: Effects of forest management on bird assemblages in oak-dominated stands of the Western Carpathians – Refuges for rare species. *Forest Ecology and Management* 453: 117620. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117620>
- Lindenmayer, D.B., P.S. Barton, P.W. Lane, M.J. Westgate, L. McBurney, D. Blair, P. Gibbons, G.E. Likens, 2014: An empirical assessment and comparison of species-based and habitat-based surrogates: A case study of forest vertebrate and large old trees. *PLOS One* 9 (2): e89807. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0089807>
- Lislevand, T., 2012: Habitat and nest placement of Red-backed Shrikes *Lanius collurio* breeding in clear-cuts in southern Norway. *Ornis Norvegica* 35: 28-36. <https://doi.org/10.15845/on.v35i0.242>
- Microsoft Corporation, 2018: Microsoft Excel. <http://office.microsoft.com/excel>
- Morelli, F., Y. Benedetti, A.P. Møller, R.A. Fuller, 2019: Measuring avian specialization. *Ecology and Evolution* 9: 8378-8386. <https://doi.org/10.1002/ece3.5419>
- Morelli, F., Y. Benedetti, C.T. Callaghan, 2020: Ecological specialization and population trends in European breeding birds. *Global Ecology and Conservation* 22: e00996. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00996>
- Ostermann, O.P., 1998: The need for management of nature conservation sites designated under Natura 2000. *Journal of Applied Ecology* 35: 968-973. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.1998.tb00016.x>
- PECBMS, 2023: Pan-European common bird monitoring scheme. <https://pecbms.info/>
- Polak, M., 2012: Habitat preferences of the sympatric barred warbler (*Sylvia nisoria*) and the red-backed shrike (*Lanius collurio*) breeding in central Poland. *Annales Zoologici Fennici* 49 (5): 355-363. <https://doi.org/10.5735/086.049.0509>
- Przepióra, F., J. Loch, M. Ciach, 2020: Bark beetle infestation spots as biodiversity hotspots: Canopy gaps resulting from insect outbreaks enhance the species richness, diversity and abundance of birds breeding in coniferous forests. *Forest Ecology and Management* 473: 118280. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118280>
- QGIS Development Team, 2023: QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>
- Ram, D., Å. Lindström, L.B. Pettersson, P. Caplat, 2020: Forest clear-cuts as habitat for farmland birds and butterflies. *Forest Ecology and Management* 473: 118239. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118239>
- Ram, D., Å. Lindström, L.B. Pettersson, P. Caplat, 2023: Farmland birds on forest clear-cuts: Liked by some, avoided by others. *Forest Ecology and Management* 529: 120714. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120714>
- Smith, R.K., N. Vaughan Jennings, S. Harris, 2005: A quantitative analysis of the abundance and demography of European hares *Lepus europaeus* in relation to habitat type, intensity of agriculture and climate. *Mammal Review* 35 (1): 1-24. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2907.2005.00057.x>
- Sprengel, E., M. Jaggi, Y. Kilcher, T. Hofmann, 2016: Audio based bird species identification using deep learning techniques. *LifeCLEF*, 547-559 pp. <http://ceur-ws.org/Vol-1609/16090547.pdf>

- Söderström, B., H. Karlsson, 2011: Increased reproductive performance of Red-backed Shrikes *Lanius collurio* in forest clear-cuts. *Journal of Ornithology* 152: 313–318. <https://doi.org/10.1007/s10336-010-0587-8>
- Svensson, L., K. Mullarney, D. Zetterström, 2018: Ptice Hrvatske i Europe. Udruga BIOM, Zagreb.
- Tschumi, M., K. Birkhofer, S. Blasiusson, M. Jörgensen, H.G. Smith, J. Ekroos, 2020: Woody elements benefit bird diversity to a larger extent than semi-natural grasslands in cereal-dominated landscapes. *Basic and Applied Ecology* 46: 15–23. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2020.03.005>
- Tutiš, V., J. Kralj, D. Radović, D. Čiković, S. Barišić, 2013: Crvena knjiga ptica Hrvatske. Ministarstvo zaštite okoliša i prirode, Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb.
- Tworek, S., 2002: Different bird strategies and their responses to habitat changes in an agricultural landscape. *Ecological Research* 17: 339–359. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1703.2002.00493.x>
- Ventura, T.M., A.G. de Oliveira, T.D. Ganchev, J.M. de Figueiredo, O. Jahn, M.I. Marques, K.L. Schuchmann, 2015: Audio parameterization with robust frame selection for improved bird identification. *Expert Systems with Applications* 42 (22): 8463–8471. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.07.002>
- Villard, M.A., R. Foppen, 2018: Ecological adaptations of birds to forest environments. U (Mikusiński, G., J.-M. Roberge, R.J. Fuller, ur.): *Ecology and conservation of forest birds*. Cambridge University Press (Ecology, Biodiversity and Conservation), pp. 51–78. <https://doi.org/10.1017/9781139680363.005>
- Virah-Sawmy, M., L. Gillson, K.J. Willis, 2009: How does spatial heterogeneity influence resilience to climatic changes? Ecological dynamics in southeast Madagascar. *Ecological Monographs* 79 (4): 557–574. <https://doi.org/10.1890/08-1210.1>
- Wolfslehner, B., S. Linser, 2023: European forest biodiversity indicators at a glance. Forest Europe background paper and contribution to the European Forest Alliance (EFA).

SUMMARY

The first age class of even-aged managed forests, which includes stands up to 20 years old, shows significant differences in habitat conditions compared to older age classes, making it a suitable habitat for certain bird species. To assess the suitability of these habitats, a study of the ornithofauna was conducted in the first age class of pedunculate oak forest within Opeke Forest Management Unit, which is a part of the lowland forest complex of Lonjsko Polje. Monitoring was carried out using a combination of visual and audio identification methods alongside camera traps. The study was conducted from April to June 2023. The monitoring confirmed the presence of 19 bird species, two of which (collared flycatcher and red-backed shrike) are listed in Annex I of the Birds Directive. During the monitoring, a common buzzard was observed flying over the area, and it regularly perched on the edge trees of nearby stands, observing the surface of the study area. The presence of great spotted woodpecker throughout the study suggests that young pedunculate oak stands may meet some of its habitat requirements. Forest edge bird species, such as the red-backed shrike, are among the most threatened bird groups in Europe, with suitable habitats decreasing due to intensified agricultural activities. The occurrence of the red-backed shrike indicates the potential of young forest stands as alternative habitats for these bird species. The presence of these species in the first age class stand suggests that forest regeneration through shelterwood cutting can create partially suitable habitats for these species. Floodplain forest ecosystems like Lonjsko Polje cannot fully replace the primary habitats of these species. However, certain endangered species were found to use the first age class as their habitat. During the planning of management activities, it would be advisable to avoid sensitive stages for bird development. This study highlights the importance of understanding and preserving the ornithofauna in young pedunculate oak stands. Expanding knowledge about these ecosystems could contribute to the development of more effective forest management guidelines that support biodiversity and the conservation of endangered species.

KEY WORDS: even-aged forest management, first age class, pedunculate oak, ornithofauna, protected species, biodiversity, The Birds Directive, Natura 2000



PRESENCE OF INVASIVE ALIEN VASCULAR PLANT TAXA IN THE SELECTED NATURA 2000 SITES IN CROATIA

Marina ŠKUNCA^{1*}, Sanela DAMJANOVIĆ², Oleg ANTONIĆ²

SUMMARY

The Natura 2000 (N2000) ecological network, one of the most important tools for preventing further biodiversity loss in the European Union and the world's largest coordinated network of protected areas, is affected by the spread of invasive alien vascular plant taxa (IAPs). The aim of this research was to gain first insights into (1) the presence of IAPs in the selected Croatian N2000 sites designated under the Habitats Directive, and determine (2) potentially the most vulnerable sites. IAPs were recorded in 233 out of 373 of the selected N2000 sites (62%), while 76 of the total 77 IAPs recorded at the time for entire Croatia (99%) were documented in at least one site. In all but one N2000 site in which they were recorded, the IAPs had potentially suitable habitats for the establishment and spread of their populations. Additionally, 92% of the IAPs had potentially suitable habitats in all N2000 sites where they were recorded. In 94% N2000 sites where IAPs were recorded and target habitats were present, at least one recorded IAP could potentially threaten the target habitat(s). Eight species were considered as the potentially most worrisome IAPs recorded in Croatian N2000 sites, while ten sites were identified as the potentially most vulnerable. Avenues for additional research were identified, which could contribute to the improvement of management strategies and the conservation of target species and habitats in Croatian Natura 2000 sites.

KEY WORDS: biological invasions, Habitats Directive, protected areas, site management, threats and pressures, Flora Croatica Database

INTRODUCTION

Invasive alien vascular plant taxa (IAPs) are naturalised plant taxa that exhibit considerable reproductive and dispersal capabilities, which result in significant impacts on native taxa and habitats, various ecosystem services and/or human health (Richardson et al. 2000, Mitić et al. 2008, Nikolić et al. 2014). As per Nikolić (2024) a total of 77 IAPs, belonging to 28 families, have been recorded to date in the flora of Croatia. These taxa are predominantly recorded in areas that have been subjected to direct anthropogenic impact, e.g. discontinuous urban areas, managed broad-leaved forests, complexes of cultivated and arable lands, pastures, transitional woodlands and shrubs (Nikolić et al. 2014). Invasive alien taxa are generally considered one of the main drivers of biodiversity loss (e.g. Brondizio et al. 2019), while the costs to

the European economy are estimated at billions of euros annually (e.g. Haubrock et al. 2021).

The Natura 2000 (N2000) ecological network is a network of terrestrial and marine nature protection sites in the European Union. It consists of Special Areas of Conservation (SACs) and Special Protection Areas (SPAs), which are designated under the Habitats Directive (Council Directive no. 92/43/EEC) and Birds Directive (Council Directive no. 79/409/EEC; 2009/147/EC), respectively. The network's primary objective is the conservation of so-called target species and habitats, as listed in the annexes of the Directives. The network currently covers around 18% of the European total land area across 27 Member States. It is regarded as a vital tool for preventing further biodiversity loss in the EU, and the world's major coordinated network of protected areas

¹ Marina Škunca, MSc, Eurosite – the European Land Conservation Network, Tilburg, The Netherlands

² Sanela Damjanović, MSc, Prof. Oleg Antonić, PhD, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Biology, Osijek, Croatia

* Corresponding author: Marina Škunca, email: mskunca@eurosite.org

(Guerra et al. 2018, Natura 2000 Barometer 2024). Proclaimed in 2013, the N2000 spans three biogeographical regions in Croatia (continental, alpine and Mediterranean region) and consists of 745 SACs and 38 SPAs, covering almost 37% of the country's total land area (Official Gazette no. 80/19, no. 119/23, Natura 2000 Barometer 2024).

The N2000 sites are not immune to the spread of IAPs. Some authors (e.g. Gallardo et al. 2017, Guerra et al. 2018) propose that they may be, in fact, more susceptible to invasion than nationally designated protected areas. This is attributed to the fact that variable human activities are allowed in most of the N2000 sites, as well as relatively recent designation and large area of these sites (e.g. Gallardo et al. 2017, Guerra et al. 2018, Baquero et al. 2021, Ayllón et al. 2022). Therefore, data pertaining to the presence and impact of IAPs on the N2000 network is considered crucial for developing effective strategies to counteract their detrimental impacts on native taxa and habitats of Community interest. In recent years, several studies have been carried out to comprehensively investigate the occurrence of IAPs in N2000 sites at the regional or national level (e.g. Guerra et al. 2018, Lazzaro et al. 2020, Ayllón et al. 2022). The factors influencing this occurrence have also been examined (e.g. Dimitrakopoulos et al. 2017, Guerra et al. 2018, Christopoulou et al. 2021, Baquero et al. 2021, Ayllón et al. 2022), as well as the ecological impacts of IAPs on N2000 habitats (e.g. Lazzaro et al. 2020). However, basic distribution data is still lacking, as is exhaustive research into the effects of IAPs on the N2000 sites, target species and habitats, or a common approach for protecting the N2000 network (Rouget et al. 2016, Guerra et al. 2018, Lazzaro et al. 2020). Despite the growing number of research, mapping, monitoring, and policy-related projects focused on the invasive flora in Croatia over recent decades, both on site-level and nationally, the presence and impact of IAPs on the N2000 is still largely investigated as part of the general floristic research or focused on a limited number of taxa and a geographically limited area (e.g. Novak and Novak 2018 or project "The LIFE CONTRA *Ailanthus* – Establishment of control of the invasive alien species *Ailanthus altissima* in Croatia LIFE19 NAT/HR/001070").

This research aimed to gain first insights into the occurrence of IAPs in Croatian N2000 sites and the potentially most vulnerable sites. Additionally, prospective avenues for additional research were identified, which could contribute to the improvement of management strategies for the sites and the conservation of target species and habitats.

MATERIALS AND METHODS

The research was carried out using the MS Excel 365 and Quantum GIS (QGIS) 3.10.10. (A Coruña).

Data on invasive alien plant taxa

The georeferenced dataset on the spatial distribution of IAPs in Croatia was obtained from the Flora Croatica Database module "Allochthonous plants" (Nikolić 2024). The level of precision of the coordinates is indicated for each observation in the database, with values ranging from very low (0 – Croatia and 1 – region) to very high (11 – GPS, ca. 5-50 m). Only data with a precision of 7 or higher was considered, with 7 representing a precision of 100 to 200 m (Nikolić 2020).

Based on the collected data, an Excel spreadsheet was created for each of the 77 taxa. The data sets were transformed, harmonised and combined to create a point shapefile layer ("IAPs shapefile") projected into the national coordinate system: Croatian Terrestrial Reference System for the Epoch 1995.55 (HTRS96, i.e. EPSG:3765 - HTRS96/ Croatia TM in QGIS), which was used in subsequent analyses in QGIS. The errors resulting from the transposition of coordinates were corrected, while the data with incomplete coordinates or localities outside the Croatian borders were deleted. In the analyses, each taxon was considered individually, whether it was included in the database as a species or as a subspecies (as in the case of the taxa *Angelica archangelica* L. and *Erigeron annuus* (L.) Desf.).

N2000 site selection

The study area comprised the N2000 sites designated in the Republic of Croatia under the Habitats Directive (Council Directive no. 92/43/EEC). A list of proposed Sites of Community Importance (pSCI), Sites of Community Importance (SCI) and Special Areas of Conservation (SAC) (in total 745 sites), their target species and habitats were obtained from the then-current Regulation on the Ecological Network and the Competencies of Public Institutions for Ecological Network Management (Official Gazette no. 80/19). Given the ecology of IAPs, sites listing only marine or subterranean habitats or taxa were excluded from the analyses. On the other hand, sites featuring the target habitats "1130 Estuaries" and "1150 Coastal lagoons" – complex habitats under the substantial freshwater influence, and often including surrounding terrestrial elements – were included. Overall, the study area consisted of 373 selected N2000 sites.

The Web Feature Service (WFS) layer of the N2000 sites was obtained from the Biportal (2021) and saved as a polygon shapefile. Sites excluded from the analyses were removed and 200 m buffer was added around each site

to match accuracy of georeferenced IAPs data. Although this may have resulted in the inclusion of the IAPs localities situated just beyond the boundaries of the sites, we have elected to exercise caution and maintain the buffer zone, given the relatively high probability of the introduction or spread of those IAPs. The resulting “N2000 shapefile” was used in the subsequent analyses. Each site was analysed individually, regardless of any overlaps with other sites.

QGIS shapefile preparation and data analysis

The main objectives were to establish a relationship between (a) data on IAPs and selected N2000 sites, and (b) habitats impacted by the IAPs and (target) habitats identified in the sites.

The habitats impacted by a certain IAP represent those with the highest potential (suitability) for the taxa to establish and spread its population, as described in the literature and FCD (e.g. Nikolić et al. 2014, Nikolić 2024, Vuković et al. 2019, project “The LIFE CONTRA *Ailanthus* – Establishment of control of the invasive alien species *Ailanthus altissima* in Croatia LIFE19 NAT/HR/001070”). Their descriptions were translated to the Level 1 habitat codes listed in the National Habitats Classification (NHC; Appendix 1 of then-current Official Gazette no. 27/21) and added to the “IAPs shapefile”.

To evaluate the relationship between IAPs and the potentially suitable target habitats, the N2000 habitat codes were cross-walked to the corresponding NHC Level 1 habitat codes in the “N2000 shapefile”, in accordance with the List of Endangered and/or Rare Habitat Types of National and European Significance Present in the Republic of Croatia (Appendix 2 of Official Gazette no. 27/21). Moreover, to ascertain the general presence of potentially suitable habitats for the establishment and spread of IAPs, the “N2000 shapefile” was overlapped with the Map of Natural and Seminatural Non-Forest and Freshwater Habitats of the Republic of Croatia (Bardi et al. 2016), and the column with the NHC Level 1 habitat codes of the present habitats was also added to the “N2000 shapefile”. Only “dominant” habitats were considered, i.e. those which covered over 85% of the area of a polygon in which they were recorded. NHC Level 1 habitat codes were used due to the limited country-specific information on the habitats affected and the incomplete data, available at the time in the FCD and additional literature, on the specific habitats or vegetation in which a particular IAP was recorded.

Two analyses were carried out using the two shapefiles prepared in the preceding steps: the final “IAPs shapefile” and the final “N2000 shapefile”. An IAP was considered to have potentially suitable habitat for the establishment

and spread of its population in a given N2000 site if it had the NHC code of the impacted habitat identical to the NHC code of the habitat(s) occurring in the N2000 site. The same was true for the target habitats of each N2000 site. Other target habitats, which were not suitable for IAPs, were not considered in subsequent analyses.

RESULTS

Of the 77 taxa of IAPs in Croatia, 76 were recorded in at least one N2000 site. The selected N2000 sites where IAPs were or were not recorded are shown in Figure 1.

IAPs are present in 62% of the selected N2000 sites ($n = 373$). Only three sites recorded more than 50% of the then total Croatian invasive alien flora, 58 N2000 sites recorded more than 20%, while the lowest percentage (10% and less) was found in the highest number of N2000 sites (132).

IAPs presence in the selected N2000 sites

Conyza canadensis (L.) Cronquist was the most recorded IAP, closely followed by *Erigeron annuus* (L.) Desf. and *Robinia pseudoacacia* L., and not so closely by *Ambrosia artemisiifolia* L. The first three species were recorded in ca. 59% of the selected N2000 sites where IAPs were recorded ($n = 233$), while *A. artemisiifolia* in 54%. On the other hand, five IAPs were recorded in only one N2000 site (0.43%), while *Sicyos angulatus* L. was not found in any N2000 site.

In 232 out of 233 N2000 sites, the recorded IAPs had potentially suitable habitats for the establishment and spread of their populations. The only exception was the Blatina site (HR2001009), a small lake near Sobra on the island of Mljet, where no suitable habitat was detected for the only recorded species, *C. canadensis*. Furthermore, 92% of the IAPs had potentially suitable habitats in all N2000 sites where they were recorded. The exceptions, in addition to *C. canadensis*, were *A. artemisiifolia* (124 out of 125 sites), *Bidens subalternans* DC. (34 out of 35 sites), *Conyza bonariensis* (L.) Cronquist (28 out of 29 sites), *Galinsoga parviflora* Cav. (47 out of 48 sites), and *Sorghum halepense* (100 out of 102 sites).

In the total sample of 373 N2000 sites, a total of 69 target habitats were identified. However, no IAPs were recorded in five N2000 sites where one or more of the following four target habitats were designated: “7110* Active raised bogs”, “7150 Depressions on peat substrates of the *Rhynchosporion*”, “91D0* Bog woodland”, “92D0 Southern riparian galleries and thickets (*Nerio-Tamaricetea*)”. These target habitats are generally characterised by a limited distribution in Croatia. Of all the N2000 sites where IAPs were recorded, 183 sites had designated target habitats (65 habitats in total). In three

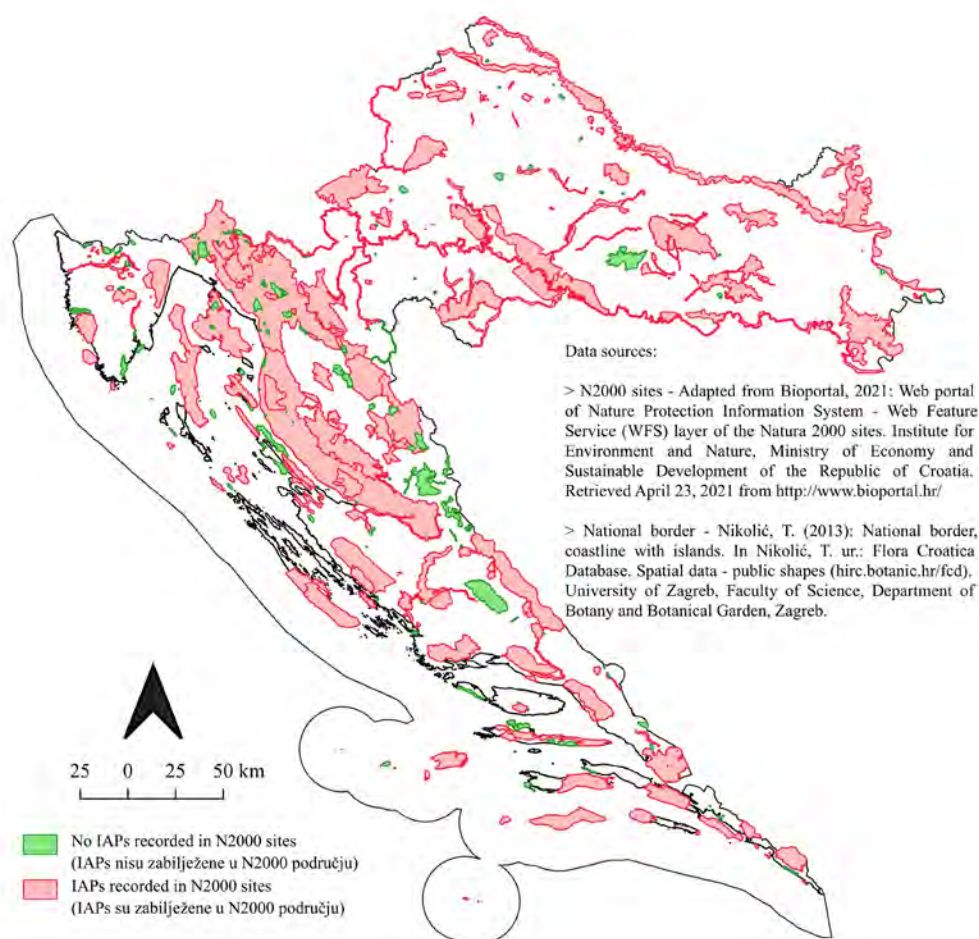


Figure 1 Presence of invasive alien vascular plant taxa (IAPs) in the selected Natura 2000 (N2000) sites ($n = 373$; including 200 m wide buffer around each site).

of those N2000 sites, the dominant habitats identified in the habitat map (Bardi et. al. 2016) did not match the NHC codes corresponding to the target habitats: “3180* Turloughs” (occasional Lake Blata, HR2000594), “6240* Sub-Pannonic steppic grasslands” (cemetery in Bilje, HR2000728) and “6220* Pseudo-steppe with grasses and annuals of the *Thero-Brachypodietea*” (the island of Susak, HR2000888). Thus, out of 180 N2000 sites where IAPs were recorded and target habitats were present, in 170 sites at least one recorded IAP could potentially threaten the target habitat(s).

A quantitative overview of each IAP in terms of the number and proportion of sites in which it was recorded, as well as of potentially suitable (target) habitats identified across the sites, is provided in Table 1. Based on the obtained results, eight potentially most worrisome IAPs for over a quarter of the Croatian N2000 sites were identified.

N2000 sites in the context of IAPs presence

Of the 76 IAPs recorded in a total of 233 N2000 sites, the highest number of IAPs (around 53%) was recorded in

the proximity of the rivers Neretva (HR5000031), Sava (HR2001311) and Kupa (HR2000642). A further 18 N2000 sites were recorded over a third of the total invasive alien flora, with the higher percentages (over 45%) found in Gorski kotar and northern Lika (HR5000019), Velebit Nature Park (HR5000022) and the upper course of the Drava River (HR5000014). In 32 N2000 sites only one IAP was recorded.

In 228 out of 232 N2000 sites (98%), all the recorded IAPs had potentially suitable habitats for the establishment and spread of their populations. The exceptions are four sites: Lake Sovsko (HR2001512, 8 taxa out of 11 recorded), the settlement of Meja near Bakar (HR2001487, 9 out of 10), Cavtat islands Bobara, Mrkan and Supetar (HR2001047, 2 out of 6) and Lake Blatina near Sobra on the island of Mljet (HR2001009, 0 out of 1). Not surprisingly, the six sites with the highest number of IAPs in general are also the ones with the highest number of IAPs with potentially suitable habitats, with the identical proportion of IAPs recorded. In 31 N2000 sites, only one IAP with potentially suitable habitats was recorded.

Table 1 Presence of invasive alien vascular plant taxa (IAPs) in the selected Natura 2000 (N2000) sites. Abbreviations: N2000 (a) = the number of N2000 sites where a particular IAP has been recorded; SH (a) = the number of N2000 sites where a particular IAP has suitable habitat(s); TH (a) = the number of N2000 sites where the target habitat(s) represent potentially suitable habitat(s) for a particular IAP; N2000 (b), SH (b) and TH (b) = a proportion of the total number of N2000 sites where IAPs have been recorded (%) (n = 233). The taxonomic nomenclature follows the Flora Croatica Database (Nikolić 2024).

IAPs	N2000		SH		TH	
	(a)	(b) (%)	(a)	(b) (%)	(a)	(b) (%)
<i>Abutilon theophrasti</i> Medik.	42	18.0	42	18.0	7	3.0
<i>Acer negundo</i> L.	44	18.9	44	18.9	36	15.5
<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	84	36.1	84	36.1	60	25.8
<i>Amaranthus albus</i> L.	17	7.3	17	7.3	12	5.2
<i>Amaranthus blitoides</i> S. Watson	5	2.1	5	2.1	2	0.9
<i>Amaranthus deflexus</i> L.	25	10.7	25	10.7	17	7.3
<i>Amaranthus hybridus</i> L.	29	12.4	29	12.4	13	5.6
<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	101	43.3	101	43.3	33	14.2
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.	125	53.6	124	53.2	17	7.3
<i>Amorpha fruticosa</i> L.	55	23.6	55	23.6	49	21.0
<i>Angelica archangelica</i> L.	4	1.7	4	1.7	4	1.7
<i>Angelica archangelica</i> L. subsp. <i>archangelica</i>	1	0.4	1	0.4	1	0.4
<i>Artemisia annua</i> L.	8	3.4	8	3.4	6	2.6
<i>Artemisia verlotiorum</i> Lamotte	43	18.5	43	18.5	29	12.4
<i>Asclepias syriaca</i> L.	46	19.7	46	19.7	30	12.9
<i>Aster squamatus</i> (Spreng.) Hieron.	25	10.7	25	10.7	21	9.0
<i>Bidens frondosa</i> L.	59	25.3	59	25.3	43	18.5
<i>Bidens subalternans</i> DC.	35	15.0	34	14.6	22	9.4
<i>Broussonetia papyrifera</i> (L.) Vent.	24	10.3	24	10.3	16	6.9
<i>Carpobrotus edulis</i> (L.) N.E.Br.	4	1.7	4	1.7	3	1.3
<i>Cenchrus longispinus</i> (Kneuck.) Fernald	1	0.4	1	0.4	1	0.4
<i>Chamomilla suaveolens</i> (Pursh) Rydb.	14	6.0	14	6.0	3	1.3
<i>Chenopodium ambrosioides</i> L.	5	2.1	5	2.1	5	2.1
<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist	29	12.4	28	12.0	21	9.0
<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	138	59.2	135	57.9	45	19.3
<i>Conyza sumatrensis</i> (Retz.) E. Walker	25	10.7	25	10.7	8	3.4
<i>Cuscuta campestris</i> Yunck.	11	4.7	11	4.7	3	1.3
<i>Datura innoxia</i> Mill.	13	5.6	13	5.6	5	2.1
<i>Datura stramonium</i> L.	47	20.2	47	20.2	25	10.7
<i>Diploaxis erucoides</i> (L.) DC.	3	1.3	3	1.3	0	0.0
<i>Duchesnea indica</i> (Andrews) Focke	7	3.0	7	3.0	6	2.6
<i>Echinocystis lobata</i> (Michx.) Torr. et A. Gray	57	24.5	57	24.5	42	18.0
<i>Egeria densa</i> Planch.	1	0.4	1	0.4	1	0.4
<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	36	15.5	36	15.5	24	10.3
<i>Elodea canadensis</i> Michx.	6	2.6	6	2.6	5	2.1
<i>Epilobium ciliatum</i> Raf.	11	4.7	11	4.7	4	1.7
<i>Erigeron annuus</i> (L.) Desf.	137	58.8	137	58.8	68	29.2
<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers. subsp. <i>annuus</i>	7	3.0	7	3.0	6	2.6
<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers. subsp. <i>septentrionalis</i> (Fernald et Wiegand) Wagenitz	5	2.1	5	2.1	4	1.7
<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers. subsp. <i>strigosus</i> (Mühlenb. ex Willd.) Wagenitz	4	1.7	4	1.7	3	1.3
<i>Euphorbia maculata</i> L.	31	13.3	31	13.3	12	5.2
<i>Euphorbia prostrata</i> Aiton	32	13.7	32	13.7	10	4.3
<i>Galinsoga ciliata</i> (Raf.) S.F. Blake	31	13.3	31	13.3	17	7.3
<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	48	20.6	47	20.2	28	12.0
<i>Helianthus tuberosus</i> L.	61	26.2	61	26.2	38	16.3
<i>Impatiens balfourii</i> Hook. f.	6	2.6	6	2.6	4	1.7
<i>Impatiens glandulifera</i> Royle	17	7.3	17	7.3	13	5.6
<i>Impatiens parviflora</i> DC.	10	4.3	10	4.3	8	3.4
<i>Juncus tenuis</i> Willd.	26	11.2	26	11.2	19	8.2
<i>Lepidium virginicum</i> L.	22	9.4	22	9.4	18	7.7
<i>Ludwigia peploides</i> (Kunth) P.H. Raven	4	1.7	4	1.7	2	0.9
<i>Mesembryanthemum crystallinum</i> L.	10	4.3	10	4.3	7	3.0
<i>Mesembryanthemum nodiflorum</i> L.	1	0.4	1	0.4	1	0.4

IAPs	N2000		SH		TH	
	(a)	(b) (%)	(a)	(b) (%)	(a)	(b) (%)
<i>Nicotiana glauca</i> Graham	4	1.7	4	1.7	4	1.7
<i>Oenothera biennis</i> L.	15	6.4	15	6.4	6	2.6
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.	16	6.9	16	6.9	13	5.6
<i>Oxalis pes-caprae</i> L.	1	0.4	1	0.4	1	0.4
<i>Panicum capillare</i> L.	21	9.0	21	9.0	14	6.0
<i>Panicum dichotomiflorum</i> Michx.	22	9.4	22	9.4	2	0.9
<i>Parthenocissus quinquefolia</i> (L.) Planchon	55	23.6	55	23.6	50	21.5
<i>Paspalum dilatatum</i> Poir.	2	0.9	2	0.9	1	0.4
<i>Paspalum paspalodes</i> (Michx.) Scribn.	13	5.6	13	5.6	9	3.9
<i>Phytolacca americana</i> L.	37	15.9	37	15.9	33	14.2
<i>Reynoutria japonica</i> Houtt.	36	15.5	36	15.5	28	12.0
<i>Reynoutria sachalinensis</i> (F. Schmidt) Nakai	2	0.9	2	0.9	1	0.4
<i>Reynoutria</i> × <i>bohemica</i> Chrtek et Chrtková	31	13.3	31	13.3	24	10.3
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	137	58.8	137	58.8	80	34.3
<i>Rudbeckia laciniata</i> L.	21	9.0	21	9.0	17	7.3
<i>Solanum elaeagnifolium</i> Cav.	4	1.7	4	1.7	2	0.9
<i>Solidago canadensis</i> L.	39	16.7	39	16.7	34	14.6
<i>Solidago gigantea</i> Aiton	93	39.9	93	39.9	77	33.0
<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.	102	43.8	100	42.9	17	7.3
<i>Tagetes minuta</i> L.	6	2.6	6	2.6	5	2.1
<i>Veronica persica</i> Poir.	49	21.0	49	21.0	29	12.4
<i>Xanthium spinosum</i> L.	16	6.9	16	6.9	14	6.0
<i>Xanthium strumarium</i> L. subsp. <i>italicum</i> (Moretti) D. Löve	65	27.9	65	27.9	44	18.9

Out of 76 IAPs that were recorded in the N2000 sites, 75 taxa were present in the sites where the target habitats represent their potentially suitable habitats. The only exception was the ruderal weed *Diplotaxis eruroides* (L.) DC, for which the target habitats designated in three N2000 sites – the island of Murter (HR2001050), the Krka estuary (HR3000171) and the lagoon of Morinje (HR3000460) do not represent the potentially suitable habitats. In 26 N2000 sites, target habitats represent potentially suitable habitats for only one IAP.

A quantitative overview of each N2000 site in terms of the number and proportion of IAPs recorded, as well as the number of IAPs with potentially suitable (target) habitats identified in the given site, is provided in Table 2. Based on the obtained results, ten most vulnerable Croatian N2000 sites for over a third of the total recorded IAPs have been identified.

Table 2 The number and proportion of the invasive alien vascular plant taxa (IAPs) recorded within the selected Natura 2000 (N2000) sites. Abbreviations: IAPs (a) = the number of IAPs recorded at a given N2000 site; IAPs-SH (a) = the number of IAPs with potentially suitable habitat(s) in a given N2000 site; IAPs-TH (a) = the number of IAPs for whom the target habitat(s) represent potentially suitable habitat(s) in a given N2000 site; IAPs (b), IAPs-SH (b) and IAPs-TH (b) = a proportion of the total number of IAPs recorded at N2000 sites (%) (n = 76).

N2000 sites	IAPs		IAPs-SH		IAPs-TH	
	(a)	(b) (%)	(a)	(b) (%)	(a)	(b) (%)
HR2000132	15	19.7	15	19.7	6	7.9
HR2000364	29	38.2	29	38.2	20	26.3
HR2000369	6	7.9	6	7.9	0	0.0

N2000 sites	IAPs		IAPs-SH		IAPs-TH	
	(a)	(b) (%)	(a)	(b) (%)	(a)	(b) (%)
HR2000371	18	23.7	18	23.7	18	23.7
HR2000372	28	36.8	28	36.8	28	36.8
HR2000394	28	36.8	28	36.8	16	21.1
HR2000415	30	39.5	30	39.5	22	28.9
HR2000416	25	32.9	25	32.9	19	25.0
HR2000420	22	28.9	22	28.9	17	22.4
HR2000426	8	10.5	8	10.5	6	7.9
HR2000427	18	23.7	18	23.7	7	9.2
HR2000437	9	11.8	9	11.8	5	6.6
HR2000438	11	14.5	11	14.5	6	7.9
HR2000440	11	14.5	11	14.5	5	6.6
HR2000441	8	10.5	8	10.5	3	3.9
HR2000447	4	5.3	4	5.3	4	5.3
HR2000449	9	11.8	9	11.8	6	7.9
HR2000450	8	10.5	8	10.5	5	6.6
HR2000451	6	7.9	6	7.9	3	3.9
HR2000459	12	15.8	12	15.8	5	6.6
HR2000463	29	38.2	29	38.2	0	0.0
HR2000465	8	10.5	8	10.5	6	7.9
HR2000544	1	1.3	1	1.3	0	0.0
HR2000545	1	1.3	1	1.3	0	0.0
HR2000546	1	1.3	1	1.3	0	0.0
HR2000570	2	2.6	2	2.6	1	1.3
HR2000571	10	13.2	10	13.2	8	10.5
HR2000572	8	10.5	8	10.5	5	6.6
HR2000573	5	6.6	5	6.6	0	0.0
HR2000580	16	21.1	16	21.1	12	15.8
HR2000583	24	31.6	24	31.6	24	31.6
HR2000586	31	40.8	31	40.8	25	32.9

N2000 sites	IAPs		IAPs-SH		IAPs-TH	
	(a)	(b) (%)	(a)	(b) (%)	(a)	(b) (%)
HR2000591	2	2.6	2	2.6	2	2.6
HR2000592	20	26.3	20	26.3	10	13.2
HR2000593	13	17.1	13	17.1	6	7.9
HR2000594	3	3.9	3	3.9	0	0.0
HR2000596	7	9.2	7	9.2	2	2.6
HR2000601	8	10.5	8	10.5	8	10.5
HR2000604	11	14.5	11	14.5	5	6.6
HR2000605	3	3.9	3	3.9	3	3.9
HR2000609	7	9.2	7	9.2	4	5.3
HR2000616	12	15.8	12	15.8	9	11.8
HR2000619	11	14.5	11	14.5	6	7.9
HR2000623	27	35.5	27	35.5	8	10.5
HR2000632	2	2.6	2	2.6	2	2.6
HR2000634	1	1.3	1	1.3	1	1.3
HR2000635	13	17.1	13	17.1	8	10.5
HR2000637	13	17.1	13	17.1	2	2.6
HR2000641	19	25.0	19	25.0	12	15.8
HR2000642	40	52.6	40	52.6	39	51.3
HR2000648	2	2.6	2	2.6	1	1.3
HR2000670	4	5.3	4	5.3	2	2.6
HR2000707	1	1.3	1	1.3	0	0.0
HR2000728	5	6.6	5	6.6	0	0.0
HR2000780	5	6.6	5	6.6	3	3.9
HR2000799	2	2.6	2	2.6	2	2.6
HR2000871	2	2.6	2	2.6	2	2.6
HR2000874	1	1.3	1	1.3	0	0.0
HR2000888	1	1.3	1	1.3	0	0.0
HR2000917	4	5.3	4	5.3	0	0.0
HR2000918	26	34.2	26	34.2	26	34.2
HR2000919	7	9.2	7	9.2	0	0.0
HR2000929	31	40.8	31	40.8	31	40.8
HR2000931	5	6.6	5	6.6	0	0.0
HR2000932	3	3.9	3	3.9	1	1.3
HR2000933	12	15.8	12	15.8	0	0.0
HR2000936	1	1.3	1	1.3	0	0.0
HR2000937	1	1.3	1	1.3	1	1.3
HR2000942	18	23.7	18	23.7	18	23.7
HR2000943	2	2.6	2	2.6	2	2.6
HR2000944	1	1.3	1	1.3	0	0.0
HR2000946	6	7.9	6	7.9	6	7.9
HR2001004	4	5.3	4	5.3	0	0.0
HR2001005	6	7.9	6	7.9	0	0.0
HR2001006	11	14.5	11	14.5	0	0.0
HR2001009	1	1.3	0	0.0	0	0.0
HR2001010	8	10.5	8	10.5	2	2.6
HR2001011	1	1.3	1	1.3	1	1.3
HR2001012	22	28.9	22	28.9	15	19.7
HR2001016	5	6.6	5	6.6	5	6.6
HR2001017	3	3.9	3	3.9	0	0.0
HR2001021	1	1.3	1	1.3	1	1.3
HR2001031	15	19.7	15	19.7	9	11.8
HR2001042	6	7.9	6	7.9	3	3.9
HR2001045	5	6.6	5	6.6	1	1.3
HR2001046	5	6.6	5	6.6	1	1.3
HR2001047	6	7.9	2	2.6	2	2.6

N2000 sites	IAPs		IAPs-SH		IAPs-TH	
	(a)	(b) (%)	(a)	(b) (%)	(a)	(b) (%)
HR2001050	19	25.0	19	25.0	12	15.8
HR2001058	8	10.5	8	10.5	6	7.9
HR2001070	30	39.5	30	39.5	0	0.0
HR2001085	14	18.4	14	18.4	6	7.9
HR2001086	10	13.2	10	13.2	3	3.9
HR2001097	7	9.2	7	9.2	7	9.2
HR2001115	12	15.8	12	15.8	12	15.8
HR2001215	15	19.7	15	19.7	0	0.0
HR2001216	20	26.3	20	26.3	0	0.0
HR2001228	13	17.1	13	17.1	0	0.0
HR2001243	8	10.5	8	10.5	0	0.0
HR2001257	4	5.3	4	5.3	0	0.0
HR2001260	5	6.6	5	6.6	5	6.6
HR2001267	4	5.3	4	5.3	0	0.0
HR2001274	1	1.3	1	1.3	1	1.3
HR2001277	4	5.3	4	5.3	0	0.0
HR2001278	4	5.3	4	5.3	2	2.6
HR2001279	3	3.9	3	3.9	2	2.6
HR2001280	2	2.6	2	2.6	2	2.6
HR2001281	14	18.4	14	18.4	3	3.9
HR2001285	6	7.9	6	7.9	0	0.0
HR2001286	1	1.3	1	1.3	0	0.0
HR2001288	6	7.9	6	7.9	0	0.0
HR2001292	7	9.2	7	9.2	6	7.9
HR2001293	18	23.7	18	23.7	12	15.8
HR2001298	9	11.8	9	11.8	5	6.6
HR2001299	1	1.3	1	1.3	1	1.3
HR2001305	2	2.6	2	2.6	2	2.6
HR2001307	30	39.5	30	39.5	23	30.3
HR2001308	30	39.5	30	39.5	11	14.5
HR2001309	22	28.9	22	28.9	22	28.9
HR2001311	41	53.9	41	53.9	41	53.9
HR2001313	21	27.6	21	27.6	15	19.7
HR2001314	16	21.1	16	21.1	11	14.5
HR2001318	1	1.3	1	1.3	1	1.3
HR2001319	8	10.5	8	10.5	4	5.3
HR2001320	2	2.6	2	2.6	0	0.0
HR2001322	3	3.9	3	3.9	0	0.0
HR2001325	3	3.9	3	3.9	2	2.6
HR2001326	18	23.7	18	23.7	9	11.8
HR2001327	3	3.9	3	3.9	0	0.0
HR2001328	18	23.7	18	23.7	8	10.5
HR2001329	22	28.9	22	28.9	11	14.5
HR2001330	14	18.4	14	18.4	0	0.0
HR2001335	19	25.0	19	25.0	13	17.1
HR2001336	4	5.3	4	5.3	0	0.0
HR2001338	1	1.3	1	1.3	1	1.3
HR2001339	5	6.6	5	6.6	2	2.6
HR2001343	3	3.9	3	3.9	1	1.3
HR2001345	8	10.5	8	10.5	5	6.6
HR2001346	12	15.8	12	15.8	7	9.2
HR2001347	9	11.8	9	11.8	3	3.9
HR2001348	1	1.3	1	1.3	0	0.0
HR2001349	8	10.5	8	10.5	0	0.0
HR2001350	17	22.4	17	22.4	0	0.0
HR2001351	13	17.1	13	17.1	11	14.5

N2000 sites	IAPs		IAPs-SH		IAPs-TH	
	(a)	(b) (%)	(a)	(b) (%)	(a)	(b) (%)
HR2001352	28	36.8	28	36.8	28	36.8
HR2001353	15	19.7	15	19.7	11	14.5
HR2001354	10	13.2	10	13.2	3	3.9
HR2001356	20	26.3	20	26.3	10	13.2
HR2001357	31	40.8	31	40.8	31	40.8
HR2001358	12	15.8	12	15.8	12	15.8
HR2001359	10	13.2	10	13.2	10	13.2
HR2001360	11	14.5	11	14.5	10	13.2
HR2001361	29	38.2	29	38.2	11	14.5
HR2001362	3	3.9	3	3.9	2	2.6
HR2001363	17	22.4	17	22.4	17	22.4
HR2001364	21	27.6	21	27.6	16	21.1
HR2001365	11	14.5	11	14.5	0	0.0
HR2001367	10	13.2	10	13.2	10	13.2
HR2001378	5	6.6	5	6.6	4	5.3
HR2001379	2	2.6	2	2.6	2	2.6
HR2001383	4	5.3	4	5.3	3	3.9
HR2001385	19	25.0	19	25.0	9	11.8
HR2001387	17	22.4	17	22.4	0	0.0
HR2001389	4	5.3	4	5.3	0	0.0
HR2001390	2	2.6	2	2.6	0	0.0
HR2001391	7	9.2	7	9.2	0	0.0
HR2001392	1	1.3	1	1.3	0	0.0
HR2001393	6	7.9	6	7.9	0	0.0
HR2001394	7	9.2	7	9.2	0	0.0
HR2001396	3	3.9	3	3.9	0	0.0
HR2001399	4	5.3	4	5.3	0	0.0
HR2001404	2	2.6	2	2.6	0	0.0
HR2001405	6	7.9	6	7.9	0	0.0
HR2001407	8	10.5	8	10.5	0	0.0
HR2001408	10	13.2	10	13.2	8	10.5
HR2001409	21	27.6	21	27.6	14	18.4
HR2001410	10	13.2	10	13.2	6	7.9
HR2001412	3	3.9	3	3.9	3	3.9
HR2001413	7	9.2	7	9.2	6	7.9
HR2001414	17	22.4	17	22.4	8	10.5
HR2001415	13	17.1	13	17.1	8	10.5
HR2001416	5	6.6	5	6.6	2	2.6
HR2001420	3	3.9	3	3.9	1	1.3
HR2001421	8	10.5	8	10.5	2	2.6
HR2001425	4	5.3	4	5.3	1	1.3
HR2001428	3	3.9	3	3.9	1	1.3
HR2001429	1	1.3	1	1.3	0	0.0
HR2001433	1	1.3	1	1.3	0	0.0
HR2001483	1	1.3	1	1.3	0	0.0
HR2001484	1	1.3	1	1.3	0	0.0
HR2001485	1	1.3	1	1.3	0	0.0
HR2001486	8	10.5	8	10.5	0	0.0
HR2001487	10	13.2	9	11.8	0	0.0
HR2001500	3	3.9	3	3.9	2	2.6
HR2001501	7	9.2	7	9.2	5	6.6
HR2001505	18	23.7	18	23.7	9	11.8
HR2001506	21	27.6	21	27.6	0	0.0
HR2001509	8	10.5	8	10.5	3	3.9
HR2001510	8	10.5	8	10.5	6	7.9
HR2001511	12	15.8	12	15.8	8	10.5

N2000 sites	IAPs		IAPs-SH		IAPs-TH	
	(a)	(b) (%)	(a)	(b) (%)	(a)	(b) (%)
HR2001512	11	14.5	8	10.5	5	6.6
HR3000124	1	1.3	1	1.3	1	1.3
HR3000126	20	26.3	20	26.3	8	10.5
HR3000167	2	2.6	2	2.6	1	1.3
HR3000171	25	32.9	25	32.9	10	13.2
HR3000351	5	6.6	5	6.6	3	3.9
HR3000430	17	22.4	17	22.4	10	13.2
HR3000433	7	9.2	7	9.2	1	1.3
HR3000450	1	1.3	1	1.3	0	0.0
HR3000460	19	25.0	19	25.0	8	10.5
HR4000001	9	11.8	9	11.8	9	11.8
HR4000002	3	3.9	3	3.9	3	3.9
HR4000004	1	1.3	1	1.3	1	1.3
HR4000005	6	7.9	6	7.9	3	3.9
HR4000006	3	3.9	3	3.9	2	2.6
HR4000008	1	1.3	1	1.3	1	1.3
HR4000009	1	1.3	1	1.3	1	1.3
HR4000010	6	7.9	6	7.9	5	6.6
HR4000017	5	6.6	5	6.6	5	6.6
HR4000018	1	1.3	1	1.3	1	1.3
HR4000028	10	13.2	10	13.2	10	13.2
HR4000029	2	2.6	2	2.6	2	2.6
HR4000030	12	15.8	12	15.8	6	7.9
HR5000014	35	46.1	35	46.1	35	46.1
HR5000015	24	31.6	24	31.6	9	11.8
HR5000019	37	48.7	37	48.7	11	14.5
HR5000020	21	27.6	21	27.6	21	27.6
HR5000022	36	47.4	36	47.4	35	46.1
HR5000025	21	27.6	21	27.6	10	13.2
HR5000028	1	1.3	1	1.3	1	1.3
HR5000030	7	9.2	7	9.2	7	9.2
HR5000031	41	53.9	41	53.9	35	46.1
HR5000037	2	2.6	2	2.6	2	2.6
HR5000038	6	7.9	6	7.9	6	7.9

DISCUSSION

Eight potentially most worrisome IAPs recorded in Croatian N2000 sites

When considering the potentially most worrisome IAPs recorded in Croatian N2000 sites, the focus was both on the IAPs recorded in over a third of the sites and those that could potentially threaten the target habitats in over a quarter of the sites. Consequently, eight IAPs were identified: *A. altissima*, *A. retroflexus*, *A. artemisiifolia*, *C. canadensis*, *E. annuus*, *R. pseudoacacia*, *S. gigantea* and *S. halepense*. These eight species can be found throughout the country, although some might be prevalent in certain biogeographical regions — e.g. *S. gigantea* prefers continental region, while *A. altissima* shows greater aggressiveness in the Mediterranean (Novak and Novak 2018).

There are several secrets to their success and the relatively high number of their records in the N2000 sites: high propagule pressure (e.g. *A. altissima*, *A. retroflexus*, *A. artemisiifolia*, *C. canadensis*); combination of generative and vegetative reproduction (e.g. *A. altissima*, *S. gigantea*, *S. halepense*); pioneer character (e.g. *R. pseudoacacia*); high adaptability to a range of environmental conditions (e.g. *A. altissima*, *A. artemisiifolia*, *R. pseudoacacia*); quick growth or vegetative spread (e.g. *A. altissima*, *R. pseudoacacia*, *S. halepense*); and a wide range of seed dispersal vectors (e.g. *S. halepense*) to name a few. In addition, *R. pseudoacacia* has long provided a wide range of ecosystem services: it was deliberately cultivated as a park tree, but also for fuel, erosion control, afforestation of devastated and burned areas, construction wood and bee pastures (Nikolić et al. 2014, Lazzaro et al. 2020, Nikolić 2024). It is our understanding that at least five of these eight species have been considered as transformers (sensu Richardson et al. 2000, Mitić et al. 2008, Nikolić 2024) in other regions of Europe: *A. altissima* (e.g. Török et al. 2003), *A. artemisiifolia* (e.g. Protopopova et al. 2014), *C. canadensis* (e.g. Protopopova et al. 2014), *R. pseudoacacia* (e.g. Török et al. 2003, Lazzaro et al. 2020) and *S. gigantea* (e.g. Török et al. 2003).

None of these eight species were included on the Croatian Black List (Official Gazette no. 13/24), as they are all widely distributed within the country and it is unlikely that their listing on the Black List would effectively prevent, minimise or mitigate their harmful effects. Conversely, although they adhere to a similar set of criteria, the list of Invasive Alien Species of Union Concern includes the species *A. altissima* (Regulation (EU) 1143/2014 and Commission Implementing Regulations (EU) 2016/1141, 2017/1263, 2019/1262, 2022/1203). Four species were mentioned in the reviews listing the most problematic (European) IAPs: e.g. DAISIE's "the 100 most invasive alien species in Europe" (*A. altissima*, *A. artemisiifolia*, *R. pseudoacacia*; Vilà et al. 2009), the "worst invasive plants in protected areas of the world" (*A. altissima*, *R. pseudoacacia*; Foxcroft et al. 2017), the "149 worst alien species for Europe" (*R. pseudoacacia*, *A. artemisiifolia*; Nentwig et al. 2018), and on the EPPO List of Invasive Alien Plants (EPPO 2024), which includes taxa considered most threatening to the Euro-Mediterranean region's taxa and ecosystems (*A. altissima*, *A. artemisiifolia*, *S. gigantea*).

Ten Croatian N2000 sites potentially most vulnerable in terms of IAPs presence

While three Croatian N2000 sites each recorded more than half of the Croatian invasive flora, and the additional 18 sites recorded more than a third, when considering the potentially most vulnerable N2000 sites, the focus was on those sites with potentially suitable target

habitats for the highest number of IAPs. Consequently, ten sites were identified: Sava River near Hrušćica (HR2001311), Kupa River (HR2000642), Danube River downstream of Osijek and Vukovar (HR2000372), wider area of the Krka National Park (HR2000918), the canyon of the Cetina River (HR2000929), the Mosor Mountain (HR2001352), the island of Krk (HR2001357), the upper course of the Drava River (HR5000014), Velebit Nature Park (HR5000022) and the Neretva Delta (HR5000031). Interestingly, only two out of the ten potentially most vulnerable N2000 sites recognised invasive taxa as a negative threat and included it in the Standard Data Form, as defined by the Commission Implementing Decision 2011/484/EU. One ranked invasive non-native taxa as a threat of high importance (the Neretva Delta, HR5000031), while the other ranked them as a threat of medium importance (Velebit Nature Park, HR5000022) (Bioportal 2024).

Riparian zones are among the most endangered ecosystems, exposed to increasing natural and anthropogenic pressures that facilitate the spread of IAPs. Indeed, some authors have suggested that the plant communities of the riparian zones are among those most susceptible to invasion (e.g. Zedler and Kercher 2004, Dimitrakopoulos et al. 2017). Nikolić et al. (2013) reported that a variety of invasive taxa were found in the major river valleys. Additionally, over half of the IAPs identified in Croatia at that time were recorded in inland waters or in the immediate vicinity of inland waters, while almost a third occurred within inland wetlands. Therefore, it is not surprising that seven out of ten potentially most vulnerable Croatian N2000 sites are connected to the (wider) river areas (HR2001311, HR2000642, HR5000014, HR2000372, HR2000929, HR5000031 and HR2000918). It is also noteworthy that a significant number of those sites are situated in close proximity to urban centres. Major ones include Zagreb (Sava) and Varaždin (Drava), both of which are situated at the intersection of the main continental transport corridors. Smaller regional centres include Osijek (Drava), and industrial towns such as Karlovac (Kupa), Sisak (Kupa and Sava) and Slavonski Brod (Sava). In addition, some of the floodplains, as well as wider areas in the vicinity of certain rivers (e.g. Drava, Danube, Krka, Neretva) and encompassed by the aforementioned N2000 sites, have been transformed into agricultural lands, one of the most invaded habitats (Nikolić et al. 2013).

Once regarded as a relatively resilient ecosystem in the face of recently introduced taxa, the European Mediterranean biogeographical region is nowadays considered to be particularly endangered by IAPs, with a high level of invasion predicted for its coastal zone (Foxcroft et al. 2013, Nikolić et al. 2013, Dimitrakopoulos et al. 2017, Radović et al. 2018). Nikolić et al. (2013) reported that

the majority of recorded introductions and naturalisations in the last 20 years occurred in Croatia's Mediterranean region, particularly on the islands, which tend to harbour more alien taxa than the equivalent mainland sites. One of the ten potentially most vulnerable Croatian N2000 sites (HR2001357) is indeed located on the island in the northern Adriatic – the island of Krk. The Standard Data Form (Bioportal 2024) reports a long history of human habitation and a wide range of traditional activities, including extensive sheep grazing and the exploitation of timber. This is coupled with a direct link to the mainland via bridge, industrial and transportation areas (e.g. the floating LNG terminal, Valbiska ferry port, international Rijeka Airport and Marina Puntat), as well as numerous touristic places located on the coast.

It would appear that montane regions have thus far been spared the fate of their lowland counterparts. This is most likely due to the fact that high-elevation and steep areas are often sparsely populated, isolated, situated a considerable distance from alien taxa hotspots, and have limited vehicular traffic and low levels of active landscape maintenance (Dimitrakopoulos et al. 2017). Nikolić et al. (2013) observed that IAPs occurred in a relatively wide altitude range in Croatia, but predominantly below 1100 m a.s.l. As altitude increased, the number of taxa rapidly decreased, with only a few taxa observed at elevations above 1300 m (a few localities on the Velebit Mountain and the Gorski kotar area), and no invasive taxa observed above 1500 m. It was therefore somewhat unexpected to find that two of the ten potentially most vulnerable N2000 sites were situated in mountainous areas (HR2001352 and HR5000022). The former includes the Mosor Mountain (highest peak Veliki Kabal at 1339 m a.s.l.), a part of the central Dalmatian Dinarides mountain range. The Mosor Mountain extends from the town of Split, a major urban centre and a seaport in the northwest, to the lower course of the Cetina River in the southeast (Bioportal 2024). The latter covers the majority of the Velebit Mountain (highest peak Vaganski vrh at 1757 m a.s.l.) and the valley of the karst Zrmanja River, and represents the largest natural protected area in Croatia (Bioportal 2024). The high number of IAPs observed in these two sites may be attributed to a number of factors. Both sites encompass also wider, lower-elevation areas, including those in close proximity to the rivers Cetina and Zrmanja, respectively. They have been inhabited for centuries and are popular hiking destinations, attracting a considerable number of visitors – an important vector promoting alien taxa introductions to protected areas (e.g. Dimitrakopoulos et al. 2017). Relatively well-developed network of roads and pathways, particularly in the lower parts and at the sites' borders, may facilitate the spread of IAPs to less populated and more isolated areas of these sites (e.g. Dimitrakopoulos et al. 2017). Stock breeding with pasturing

represented once the most significant economic activity in the Mosor Mountain area, yet the pastures in the region are now largely abandoned and under succession (Koren et al. 2020). However, agriculture is still somewhat present in both areas (Bioportal 2024), while the fragments of transhumance can still be observed in the mountain areas of Velebit. Finally, the frequent occurrence of forest fires in the Mosor Mountain area, particularly on the southern slopes (Koren et al. 2020), may increase the potential for invasion during at least the first few post-fire years (e.g. Brooks and Lusk 2008).

It can be observed that all ten N2000 sites share a number of common characteristics: they are large sites, generally floristically well-studied, situated in close proximity to urban areas and well connected to them. Furthermore, they attract a significant number of local, regional, and in some cases, international visitors on an annual basis. This is in accordance with previous studies (e.g. Gallardo et al. 2017, Guerra et al. 2018), which reported that the number of IAS was higher in larger N2000 sites with higher accessibility, and which was often related to the probability of receiving visitors in these areas for nature-based tourism or recreation.

A road ahead

To paraphrase Foxcroft et al. (2013), the threat or vulnerability based on the presence of the IAPs is only part of the story. Indeed, there is a complex network of research trajectories that should be pursued in the future.

The preliminary analysis indicates that the ranking of the most vulnerable N2000 sites may differ considerably if the size of a site is considered. This would likely result in the prioritisation of smaller sites – e.g. a coastal lagoon situated in Drašnice cove (HR3000351), small grassland near the settlement of Klasnići (HR2001383), Lake Sovsko (HR2001512) and the Odra River near the settlement of Jagodno (HR2001031); which are generally more vulnerable due to the larger edge/total area ratios (e.g. Foxcroft et al. 2013).

A deeper, regional and local grasp of the IAPs' behaviour (e.g. Lazzaro et al. 2020) and impact (e.g. Hulme et al. 2013, Rouget et al. 2016, Foxcroft et al. 2017, Guerra et al. 2018), which is (1) translated into a robust scientific base, (2) accompanied by a quantitative, systematic and comparable assessment methodology, and (3) coupled with information on so-called invasion debt (sensu Rouget et al. 2016) could greatly assist in informed decision-making and proactive management. The impact of climate change on the growth and spread of IAPs in the N2000 sites also requires further investigation (e.g. Foxcroft et al. 2013, Gallardo et al. 2017).

The actual presence of the IAP in question in a given

N2000 site, habitat type or target habitat could be assessed by using the observations with a precision of 11, which corresponds to the maximum spatial (GPS) precision (precision between 5 and 50 m; Nikolić 2020). However, this could lead to further underestimation of the numbers and distributions of IAPs in Croatian N2000 sites and threats to the (target) habitats, as the dynamics of their invasion already render the differentiation of poorly sampled areas from truly absent areas challenging for invasive alien flora (Radović et al. 2018). By comparing our lists of the N2000 sites where the IAPs were and were not recorded, we could already suspect some of the findings were more the result of the unsystematic sampling or unprecise location than true absence of IAPs in the site. It is anticipated that the use of high-precision observations for these purposes would be more appropriate at the site level, and that they would currently be confined to N2000 sites where detailed research of the vascular flora has already been underway.

Our results suggest only potential presence of potentially suitable (target) habitats in a given N2000 site for a certain IAP. Further and more targeted research could assist in both connecting IAPs to the affected habitats on higher NHC levels, but also in assessing the true impact of a given IAP on the invaded habitats. It is anticipated that the situation will be somewhat improved in the future as a result of an increased input of precisely geo-referenced data to FCD (e.g. Radović et al. 2018).

Distinctions in the potential for invasion (in terms of both possibilities and opportunities) of IAPs across the three Croatian biogeographical regions: continental, alpine and Mediterranean should be further explored to facilitate more reliable comparisons between taxa and provide a clearer basis for threat assessment at the national and international levels.

CONCLUSIONS

Although our study identified several knowledge gaps, it could be argued that these largely reflect the gaps in plant invasion science which have been identified in other European countries and at a global level. We conclude that, to adequately identify the most problematic IAPs and assess the vulnerability of Croatian N2000 sites, a broader set of criteria and additional floristic research (at certain sites) is necessary. A deeper country-specific insight into the ecology of certain IAPs and their interdependence with the range of environmental variables is essential. It is our hope that the findings presented here will provide a basis and inspiration for further, more targeted research in the future. Such research could make a substantial contribution to the improvement of site management and the conservation of the target species and habitats.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank Sven Jelaska for his invaluable critical feedback on the manuscript.

REFERENCES

- Ayllón, D., R.A. Baquero, G.G. Nicola, 2022: Differential vulnerability to biological invasions: not all protected areas (and not all invaders) are the same. *Biodiversity and Conservation* 31: 1535–1550. <https://doi.org/10.1007/s10531-022-02407-8>
- Baquero, R.A., D. Ayllón, G.G. Nicola, 2021: Are the EU Biosecurity Legislative Frameworks sufficiently effective to prevent biological invasions in the Natura 2000 Network? A case study in Mediterranean Europe. *Environmental Science & Policy* 120: 21–28. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.02.007>
- Bardi, A., P. Papini, E. Quaglino, E. Biondi, J. Topić, M. Milović, M. Pandža, M. Kaligarić, G. Oriolo, V. Roland, A. Batina, T. Kirin, 2016: Karta prirodnih i poluprirodnih ne-šumskih kopnenih i slatkovodnih staništa Republike Hrvatske (Map of Natural and Seminal Natural Non-Forest and Freshwater Habitats of the Republic of Croatia). AGRISTUDIO s.r.l., TEMI S.r.l., TIMESIS S.r.l., HAOP, Zagreb.
- Bioportal, 2021: Web portal of Nature Protection Information System - Web Feature Service (WFS) layer of the Natura 2000 sites. Institute for Environment and Nature, Ministry of Economy and Sustainable Development of the Republic of Croatia. <http://www.bioportal.hr/>
- Bioportal, 2024: Web portal of Nature Protection Information System - Standard Data Form of the Natura 2000 sites: HR2001352 Mosor, HR2001357 Otok Krk, HR5000022 Park prirode Velebit, HR5000031 Delta Neretve. Institute for Environment and Nature, Ministry of Economy and Sustainable Development of the Republic of Croatia. <http://www.bioportal.hr/>
- Braun, M., S. Schindler, F. Essl, 2016: Distribution and management of invasive alien plant species in protected areas in Central Europe. *Journal for Nature Conservation* 33: 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2016.07.002>
- Brondizio, E.S., J. Settele, S. Díaz, H.T. Ngo (eds.), 2019: Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. IPBES Secretariat, Bonn. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>
- Brooks, M., M. Lusk, 2008: Fire management and invasive plants: a handbook. United States Fish and Wildlife Service, Arlington.
- Christopoulou, A., A. Christopoulou, N.M. Fyllas, P.G. Dimitrakopoulos, M. Arianoutsou, 2021: How effective are the protected areas of the Natura 2000 Network in halting biological invasions? A case study in Greece. *Plants* 10: 2113. <https://doi.org/10.3390/plants10102113>
- Dimitrakopoulos, P.G., S. Koukoulas, A. Galanidis, P. Delipetrou, D. Gounaridis, K. Touloumi, M. Arianoutsou, 2017: Factors shaping alien plant species richness spatial patterns across Natura 2000 Special Areas of Conservation of Greece. *The Science of The Total Environment* 601–602: 461–468. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.220>
- EPPO, 2024: Lists of invasive alien plants of the European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO), a regional Plant Protection Organization (RPPO) for the Euro-Mediterranean region under the International Plant Protection Convention (IPPC, Article IX). https://www.eppo.int/ACTIVITIES/invasive_alien_plants/iap_lists
- 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>

- Foxcroft, L.C., P. Pyšek, D.M. Richardson, P. Genovesi, S. MacFadyen, 2017: Plant invasion science in protected areas: progress and priorities. *Biological Invasions* 19: 1353–1378. <https://doi.org/10.1007/s10530-016-1367-z>
- Gallardo, B., D.C. Aldridge, P. González-Moreno, J. Pergl, M. Pizarro, P. Pyšek, W. Thuiller, C. Yesson, M. Vilà, 2017: Protected areas offer refuge from invasive species spreading under climate change. *Global Change Biology* 23: 5331–5343. <https://doi.org/10.1111/gcb.13798>
- Guerra, C., R.A. Baquero, D. Gutiérrez-Arellano, G.G. Nicola, 2018: Is the Natura 2000 network effective to prevent the biological invasions? *Global Ecology and Conservation* 16: e00497. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00497>
- Haubrock, P.J., A.J. Turbelin, R.N. Cuthbert, A. Novoa, N.G. Taylor, E. Angulo, L. Ballesteros-Mejia, T.W. Bodey, C. Capinha, C. Diagne, F. Essl, M. Golivets, N. Kirichenko, M. Kourantidou, B. Leroy, D. Renault, L. Verbrugge, F. Courchamp, 2021: Economic costs of invasive alien species across Europe. In (Zenni, R.D., S. McDermott, E. García-Berthou, F. Essl, eds.), 2021: The economic costs of biological invasions in the world. *NeoBiota* 67: 153–190. <https://doi.org/10.3897/neobiota.67.58196>
- Hulme, P.E., P. Pyšek, V. Jarošík, J. Pergl, U. Schaffner, M. Vilà, 2013: Bias and error in understanding plant invasion impacts. *Trends in Ecology & Evolution* 28 (4): 212–218. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.010>
- Koren, T., I. Burić, G. Glavan, R. Verovnik, 2020: The butterfly (Lepidoptera: Papilionoidea) diversity of Mt. Mosor in Dalmatia, Croatia. *Natura Sloveniae* 22 (2): 43–68. <https://doi.org/10.14720/ns.22.2.43-68>
- Lazzaro, L., R. Bolpagni, G. Buffa, R. Gentili, M. Lonati, A. Stinca, A. Acosta, M. Adorni, M. Aleffi, M. Allegrezza, C. Angiolini, S. Assini, S. Bagella, G. Bonari, M. Bovio, F. Bracco, G. Brundu, M. Caccianiga, L. Carnevali, V. Di Cecco, S. Ceschin, G. Ciaschetti, A. Cogoni, B. Foggi, A.R. Frattaroli, P. Genovesi, D. Gigante, F. Lucchese, A. Mainetti, M. Mariotti, P. Minissale, B. Paura, M. Pellizzari, E.V. Perrino, G. Pirone, L. Poggio, L. Polidini, S. Poponessi, I. Prisco, F. Prosser, M. Puglisi, L. Rosati, A. Selvaggi, L. Sottovia, G. Spampinato, A. Stanisci, R. Venanzoni, D. Viciani, M. Vidali, M. Villani, L. Lastrucci, 2020: Impact of invasive alien plants on native plant communities and Natura 2000 habitats: State of the art, gap analysis and perspectives in Italy. *Journal of Environmental Management* 274: 111140. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111140>
- Mitić, B., I. Boršić, I. Dujmović, S. Bogdanović, M. Milović, P. Cigić, I. Rešetnik, T. Nikolić, 2008: Alien flora of Croatia: proposals for standards in terminology, criteria and related database. *Natura Croatica* 17 (2): 73–90.
- Natura 2000 Barometer, 2024: Web portal facilitated by European Environment Agency (Release version: end 2022 to 12 March 2024). <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/natura-2000-barometer>
- Nentwig, W., S. Bacher, S. Kumschick, P. Pyšek, M. Vilà, 2018: More than “100 worst” alien species in Europe. *Biological Invasions* 20: 1611–1621. <https://doi.org/10.1007/s10530-017-1651-6>
- Nikolić, T., 2020: Upute za upotrebu web sučelja baze podataka Flora Croatica, verzija 4.0, rujan 2020. (User Manual: Flora Croatica Web Interface, Ver. 4.0, Sep. 2020). University of Zagreb Faculty of Science, Department of Botany and Botanical Garden, Zagreb. <https://hirc.botanic.hr/fcd/Html/Hr-FC-kako.html>
- Nikolić, T. (ed.), 2024: Alohtone biljke (Allochthonous plants), Flora Croatica Database. University of Zagreb Faculty of Science, Department of Botany and Botanical Garden, Zagreb. The dataset includes observations until June 10, 2021. Retrieved October 10, 2020 - June 10, 2021; April 28, 2024 from <https://hirc.botanic.hr/fcd/InvazivneVrste>
- Nikolić, T., B. Mitić, B. Milašinović, S.D. Jelaska, 2013: Invasive alien plants in Croatia as a threat to biodiversity of South-Eastern Europe: distributional patterns and range size. *Comptes Rendus Biologies* 336 (2): 109–121. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2013.01.003>
- Nikolić, T., B. Mitić, I. Boršić, 2014: Flora Hrvatske – Invazivne biljke. Alfa, Zagreb.
- Novak, N., M. Novak, 2018: Razlike u invazivnosti nekih stranih biljnih vrsta između kontinentalnog i obalnog dijela Hrvatske. *Poljoprivreda* 24 (2): 63–69. <https://doi.org/10.18047/poljo.24.2.9>
- Official Gazette no. 13/24, 2024: Pravilnik o crnoj i bijeloj listi stranih vrsta (Regulation on the Black and White List of Alien Species). Narodne Novine, official Gazette of the Republic of Croatia.
- Official Gazette no. 27/21, 2021: Pravilnik o popisu stanišnih tipova i karti staništa (Regulation on the List of Habitat Types and Habitat Maps). Narodne Novine, official Gazette of the Republic of Croatia.
- Official Gazette no. 80/19, 2019: Uredba o ekološkoj mreži i nadležnostima javnih ustanova za upravljanje područjima ekološke mreže (Regulation on the Ecological Network and the Competencies of Public Institutions for Ecological Network Management). Narodne Novine, official Gazette of the Republic of Croatia.
- Official Gazette no. 119/23, 2023: Uredba o izmjenama Uredbe o ekološkoj mreži i nadležnostima javnih ustanova za upravljanje područjima ekološke mreže (Regulation amending the Regulation on the Ecological Network and the Competencies of Public Institutions for Ecological Network Management). Narodne Novine, official Gazette of the Republic of Croatia.
- Protopopova, V.V., M.V. Shevera, M.M. Fedoronchuk, V.L. Shevchik, 2014: Transformer species in the flora of the Middle Dnipro Region. *Ukrainian Botanical Journal* 71 (5): 563–572. (In Ukrainian) <https://doi.org/10.15407/ukrbotj71.05.563>
- Radović, A., S. Schindler, D. Rossiter, T. Nikolić, 2018: Impact of biased sampling effort and spatial uncertainty of locations on models of plant invasion patterns in Croatia. *Biological Invasions* 20: 3527–3544. <https://doi.org/10.1007/s10530-018-1793-1>
- Richardson, D.M., P. Pyšek, M. Rejmánek, M.G. Barbour, F.D. Panetta, C.J. West, 2000: Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distributions* 6 (2): 93–107. <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2000.00083.x>
- Rouget, M., M.P. Robertson, J.R.U. Wilson, C. Hui, F. Essl, J.L. Renteria, D.M. Richardson, 2016: Invasion debt – quantifying future biological invasions. *Diversity and Distributions* 22: 445–456. <https://doi.org/10.1111/ddi.12408>
- Török, K., Z. Botta-Dukát, I. Dancza, I. Németh, J. Kiss, B. Mihály, D. Magyar, 2003: Invasion gateways and corridors in the Carpathian Basin: biological invasions in Hungary. *Biological Invasions* 5: 349–356. <https://doi.org/10.1023/B:BINV.0000005570.19429.73>
- Vilà, M., C. Basnou, S. Gollasch, M. Josefsson, J. Pergl, R. Sclera, 2009: One hundred of the most invasive alien species in Europe. In: *Handbook of Alien Species in Europe. Invading Nature - Springer Series in Invasion Ecology*, vol 3. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8280-1_12
- Vuković, N., V. Šegota, A. Alegro, N. Koletić, A. Rimac, S. Dekanić, 2019: “Flying under the radar” – How misleading distributional data led to wrong appreciation of knotweeds invasion (*Reynoutria* spp.) in Croatia. *BioInvasions Records* 8 (1): 175–189. <https://doi.org/10.3391/bir.2019.8.1.19>
- Zedler, J.B., S. Kercher, 2004: Causes and consequences of invasive plants in wetlands: Opportunities, opportunists, and outcomes. *Critical Reviews in Plant Sciences* 23: 431–452. <https://doi.org/10.1080/07352680490514673>

EVALUATION OF FRUIT AND LEAF MORPHOLOGICAL VARIABILITY IN BEARBERRY (*Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng.) DINARIC ALPS POPULATIONS

Antonio VIDAKOVIĆ¹, Marijan VUKOVIĆ¹, Ana VUKOVIĆ¹, Matija MAGDIĆ¹, Valentina GAŠPAROVIĆ¹, Igor POLJAK^{1*}

SUMMARY

The Dinaric Alps, including the Velebit Mountain in Croatia, are recognized for their rich plant biodiversity, including Arctic-alpine species like bearberry (*Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng., Ericaceae). This study investigates the morphological diversity of bearberry populations in the northern Dinaric Alps, focusing on fruit and leaf traits across three populations. Morphometric analysis of fruits and leaves revealed moderate variability, with leaves exhibiting higher variability than fruits. Significant correlations were found among both leaf and fruit traits, as well as between them, suggesting a linked growth pattern. Furthermore, contrary to our expectations of significant population differentiation due to the rugged montane terrain, 100% of the variability was attributed to within-population differences. This likely results from effective gene flow between populations, facilitated by wildlife species and traditional pastoral practices on the Velebit Mountain. Additionally, the lack of inter-population variability can be attributed to recolonization processes after the last glaciation, which suggest a shared regional origin of the studied populations. Although the studied populations originate from different altitudes, we did not detect a phenotypic plasticity with respect to this gradient. The lack of plasticity in the studied bearberry populations could be due to several reasons: the inherent stability of structural characteristics in response to environmental changes; similar soil and habitat conditions across the studied populations; and the reduced plasticity observed in alpine plants from higher altitudes due to extreme and stable environmental conditions. Overall, our study highlights the importance of preserving traditional land-use practices and enforcing legal protections within national and nature parks to conserve diversity and ensure the survival of bearberry populations. It underscores the role of human activities in enhancing plant population connectivity in alpine environments and calls for integrated conservation strategies that blend habitat protection with sustainable land use.

KEY WORDS: effective seed dispersal, morphometric analysis, phenotypic plasticity, population variability, conservation biology, endangered and rare species, Arctic-alpine plants, Dinaric Alps

¹ Antonio Vidaković, PhD, Marijan Vuković, Ana Vuković, Matija Magdić, Valentina Gašparović, Assoc. Prof. Igor Poljak, PhD, University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology, Department of Forest Genetics, Dendrology and Botany, Zagreb, Croatia

* Corresponding author: Igor Poljak, email: ipoljak@sumfak.unizg.hr

INTRODUCTION

The Dinaric Alps (Dinarids) are a mountain range of southern and south-central Europe, usually recognized as one of the most important centres of European plant biodiversity and endemism (Médail and Diadema 2009, Médail et al. 2019, Liber et al. 2020). One of the largest mountains in this area is Velebit. Situated on the Adriatic coast of Croatia, it stretches about 145 km from the Vratnik pass above Senj in the northwest to the bend of the Zrmanja river in the southeast (Forenbacher 1990). The entire mountain area has been protected as a nature park, encompassing two national parks and one strict nature reserve. Velebit is home to about 2000 plant species, subspecies and varieties with a large number of rare, endangered, and protected plants (Topić et al. 2010), such as e.g. *Sibiraea laevigata* (L.) Maxim. and *Degenia velebitica* Hayek.

In higher altitudes and on Velebit summits, particularly prominent are Arctic-alpine (northern alpine) plants, persisted in this area since the Last Glacial Period (Birks and Willis 2008), such as e.g. *Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng., *Dryas octopetala* L. and *Vaccinium vitis-idaea* L. Presently, the main part of those plants' distribution area is in the cold Arctic tundras, whereas in the south of Europe they only grow in high mountainous areas, where the climate is somewhat similar to the Arctic. Nowadays those plants in the southern mountainous areas are isolated because they are surrounded by a large area of what is for them an unfavourable habitat (Ronikier et al. 2023). In this isolation each group of plants lives independently, which often results in large differences between populations (Ægisdóttir et al. 2009, Bradburd et al. 2013). Today these high-mountain and Arctic plant species are considered to be particularly sensitive to climate change because of their specialized adaptation to the cold environment (Lesica and McCune 2004, Kougioumoutzis et al. 2021, Watts et al. 2022, Walas et al. 2023).

In the group of Arctic-alpine plants, because they are endangered and rare in the Dinaric area, we were particularly interested in the species *Arctostaphylos uva-ursi*, commonly known as bearberry. *A. uva-ursi* is a small procumbent woody groundcover shrub growing 5–15 cm high (Herman 1971, Forenbacher 1990). Its leaves are evergreen, leathery and shiny, oblanceolate to obovate in shape, sometimes narrowly elliptic, 1–3 long and 0.5–1 cm wide (Schütt 2008). Besides the leaves, this species is also characterized by bisexual, bell-shaped, white, pink, or pink-tipped flowers, and 0.6–0.8 cm large globose and red fruits (Idžojić 2019). Flowering takes place in April and May, and the fruits ripen in August and September (Krüssmann 1962). The fruits persist on the plants into early winter, and are consumed by bears and many

other animals. This species is widely distributed across circumboreal regions of the subarctic Northern Hemisphere (Schütt 2008), including North America, Europe and Asia. In the Dinaric area (Forenbacher 1990), there are isolated populations on karst mountainous pastures and glades, and in dwarf pine communities at altitudes above 1000 m. Due to excessive harvesting in nature, it has been placed on the Red List of Threatened Plants of Croatia, in the Vulnerable category (Marković et al. 2005), and it is strictly protected by law.

This species is best known for its leaves, which are the main natural source of arbutin (Asensio et al. 2020), used for centuries to treat urinary tract infections and other renal diseases. In addition, bearberry also has edible fruits (Schütt 2008). Raw and unprocessed fruits have an astringent and acidic taste, while cooking and drying makes them sweeter and more appetizing. Given the significance of this plant's leaves in folk medicine, there are numerous papers dealing with their phytochemical variability (Asensio et al. 2020, Shamilov et al. 2021, Sugier et al. 2021, Kravchenko et al. 2022). However, prior to the present study, little was known about the morphological variability of bearberry. In their paper, Remphrey et al. (1983) analysed the morphology and shrub architecture of bearberry in north Canada. Due to the variability of branch architecture and hairiness, as well as leaf hairiness, as many as 14 subspecies and varieties have been recognized, although nowadays they are considered synonyms by World Flora Online (WFO 2024).

In this study, we investigated the fruit and leaf diversity of *A. uva-ursi* populations in the northern area of the Dinaric Alps. Specifically, we asked three questions: (1) What is the morphological diversity of bearberry fruits and leaves in the studied area?; (2) Do the morphometric traits of fruits and leaves correlate with each other?; and (3) Are there any differences between the populations and shrubs within the populations, and is there any morphological structure within the species in the studied area?

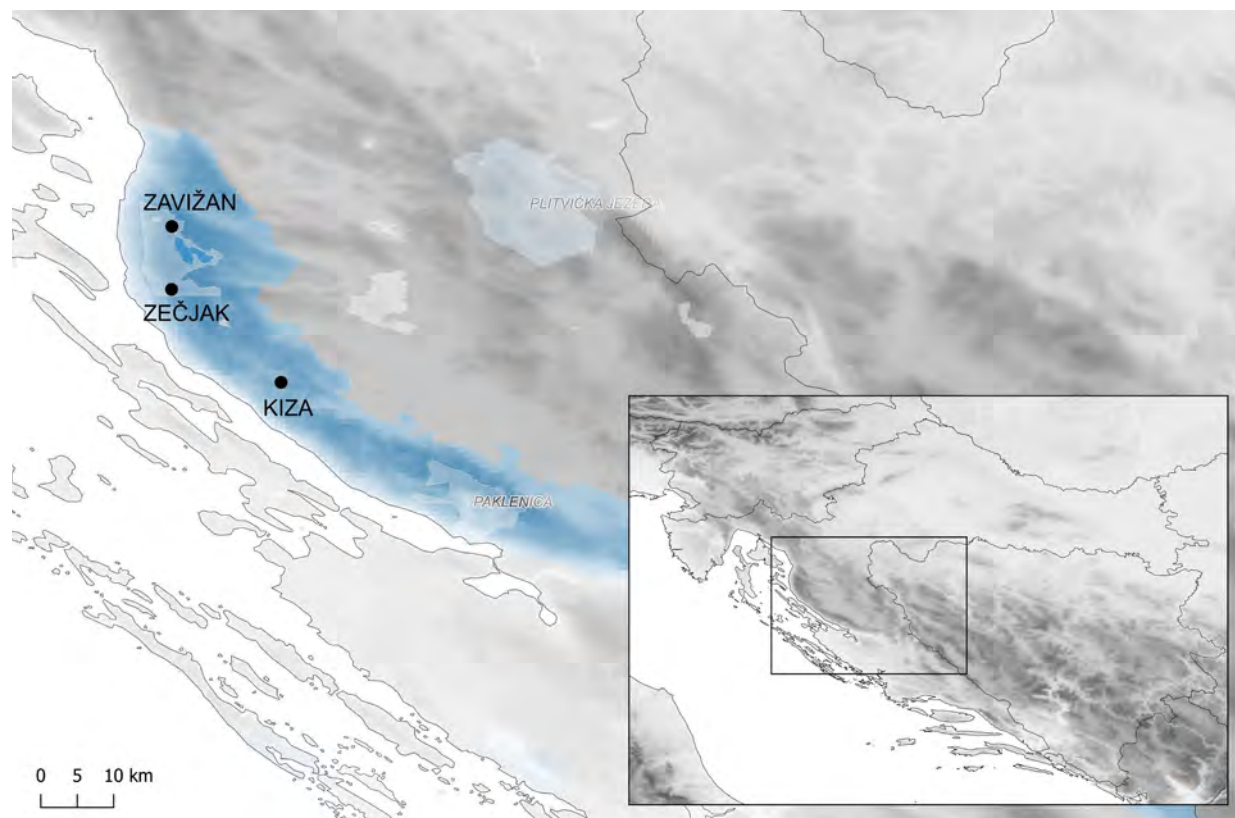
MATERIALS AND METHODS

Sample collection

In October 2023, samples for leaf and fruit morphometric analyses were collected in three bearberry populations of northern Dinaric Alps (Figure 1, Table 1): P1–Zavižan; P2–Zečjak; P3–Kiza. For the localities situated within protected areas, permission to collect samples was obtained from the Ministry of Economy and Sustainable Development (UP/I 612-07/21-33/57). In each locality we selected ten plants with a spacing of at least 30 m between each individual, and collected sev-

Table 1 Populations, sampling sites, geographic coordinates, altitude and multivariate diversity index (MDI) for three studied bearberry populations.

Population ID	Population	Latitude	Longitude	Altitude (m)	MDI Index
P1	Zavižan	44.811461	14.973303	1557	4.164
P2	Zečjak	44.704138	14.972831	1340	3.736
P3	Kiza	44.545464	15.159640	1096	3.542

**Figure 1** Geographic locations of the studied bearberry populations. Nature Park's borders are represented by darker shade of blue, while National Park's borders are depicted with light blue colour.

eral small branches from each plant with 20–30 mature and morphologically intact leaves. Once collected, the leaves were immediately placed in cardboard folders and transported back to the Herbarium DEND (University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology). From the same plants we also collected fruit samples for morphometric analysis, specifically 20 fruits from each shrub. The fruits were immediately (on the field) put into plastic zip-lock bags and placed into a portable cooler. Upon return to the lab, leaf samples were herbarized between newspaper sheets, and the fruits were stored in a refrigerator at 5°C until measurement.

Morphometric analysis

Within five days of collection, the fruits were weighed (m), and their height (FH) and width (FW) were measured using a digital caliper (Alpha Tools®, Bahag AG, Germany). Furthermore, after the leaves were herbarized, 20

leaves were randomly selected for morphometric analysis. The leaves were then scanned using a flatbed scanner MICROTEK ScanMaker 4800 (Microtek International, Inc., Hsinchu, Taiwan), and the scanned images were analysed using WinFolia software package (WinFolia™ 2001) to obtain leaf morphological parameters. Finally, we obtained a total of eight leaf traits, including leaf area (LA), leaf perimeter (P), leaf length (LL), maximal leaf width (MLW), leaf length measured from the leaf base to the point of maximum leaf width (PMLW), leaf width at 90% of leaf length (LW90), petiole length (PL), and angle describing leaf base (LA10), i.e. the angle closed by the main leaf vein and the line connecting the leaf base to a set point on the leaf margin, at 10% of total leaf length. All leaf and fruit measurements were made with a precision of 0.01 mm. Based on the measured traits we also calculated three indices, two describing the shape of the leaf (MLW/LL and PMLW/LL) and one describing the shape of the fruit (FH/FW).

Statistical analysis

Following the procedure described in Sokal and Rohlf (2012), descriptive statistical parameters for all of the studied traits were calculated, including arithmetic mean, standard deviation, coefficient of variability, and minimal and maximal values. These parameters were calculated for each population and for the populations overall. Coefficients of variation for the studied fruit and leaf traits were interpreted as described in Depypere et al. (2007): $CV < 10\%$, small variability; $10\% < CV < 20\%$, normal variability; and $CV > 25\%$, high variability.

To assess the possibility of conducting parametric tests, the symmetry, unimodality, and homoscedasticity of the data were verified (Sokal and Rohlf 2012). Assumptions of normality were checked using the Shapiro–Wilk test, and the assumption of homogeneity of variance was checked using Levene's test. The original data, which were nonhomoscedastic, prevented the direct utilization of parametric analyses. However, after standardization, the data exhibited a homogeneous level of variation, allowing us to use parametric tests. Ultimately, statistically significant differences between the studied populations and within populations were determined using hierarchical analysis of variance. The analyses were performed using the STATISTICA software package (Statistica 2018).

Pearson's correlation coefficients were calculated among all leaf and fruit traits including all studied individuals using the `cor.test` functions in R (R Core Team 2016). Strong correlations were considered those with r values equal to or greater than 0.7.

The principal component (PC) analysis was conducted in order to assess populations structure and to reveal the interactions between individuals and studied morphometric traits. The biplot was constructed by the first two principal components. The PC analysis was conducted using the "MorphoTools" R scripts in R v.3.2.2 (R Core Team 2016) by following the manual by Koutecký (2015).

The Euclidean distance matrix was calculated between all pairs of individuals based on the scores of the first two principal components (PC) considering 14 studied fruit and leaf traits. The average Euclidean distances were calculated for each population and used as the multivariate diversity index (MDI) of a population (Poljak et al. 2024a).

In addition, the Euclidean distance matrix was also used in the analysis of molecular variance (AMOVA, Excoffier et al. 1992) to partition the total morphological variance among and within populations. The significance levels of the variance components were determined after 10,000 permutations. The calculations were performed in Arlequin ver. 3.5.2.2 (Excoffier and Lischer 2010).

RESULTS

Descriptive statistics, i.e. means, standard deviations, minimal and maximal values and coefficient of variations of each morphological trait, are given in Table 2 for populations, and for the overall populations' sample. The coefficient of variations for the overall sample ranged from 4.2% to 24.5%. In terms of the traits pertaining only to fruits, only one has normal variability, namely fruit mass (m), while the other three variables (FH, FW and FH/FW) are characterized by low variability. Furthermore, the leaves were found to have nine out of ten studied traits with variability ranging from 11.5% to 24.4%, i.e. normal variability. The PMLW/LL variable exhibited variability under 10%.

Average fruit mass (m) for populations overall was 0.24 g, fruit height was 6.7 mm, and fruit width was 7.7 mm. The fruit length-to-width ratio was 0.87, ranging from 0.79 to 0.99. The highest average fruit mass (m) of 0.37 g was measured on a shrub from population Zečjak, and the lowest average of 0.15 g on a shrub from population Zavižan.

Average leaf blade length (LL) and width (MLW) were 1.5 cm and 0.7 cm, respectively. Leaf blade length (LL) and width (MLW) ranged from 1.06 to 1.95 cm, and from 0.57 to 0.95 cm, respectively. Leaf blade width at 90% of leaf blade length (LW90) was significantly lower than maximum leaf blade width (MLW), amounting to 0.45 cm. The leaf blade length/width ratio (MLW/LL) ranged from 0.34 to 0.59, and the ratio of length and distance from leaf blade base to the point of maximum leaf width (PMLW/LL) ranged from 0.55 to 0.66. The petiole (PL) was 0.43 cm long on average.

The results of the correlation analysis of the studied leaf and fruit morphological traits showed 57 significant correlations, out of 91 possible pairs (Table 3). The majority of those were positive, with only eight negative correlations found. Furthermore, out of the total number of correlations, only 17 demonstrated r values larger than 0.7.

When leaf traits are considered, 32 significant correlations were detected, among which 12 were strong ($r < 0.7$). The largest number of correlations was observed for PMLW (nine) and LL (eight), and the lowest for LA10 (five) and PMLW/LL (three). Observing the fruit morphological traits, significant correlations were noted between all tested pairs except between fruit mass (m) and FH/FW. On the other hand, fruit mass (m) was strongly correlated with fruit width (FW) and fruit height (FH).

The analysis of leaf and fruit traits showed 20 significant correlations, all positive. No significant correlations were

Table 2 The results of the descriptive statistical analysis for the studied populations and morphometric traits. Fruit morphometric traits analysed: m–fruit mass (g); FH–fruit height (mm); FW–fruit width (mm); FH/FW–fruit height/fruit width. Leaf morphometric traits analysed: LA–leaf area (cm²); P–leaf perimeter (cm); LL–leaf blade length (cm); MLW–maximum leaf width (cm); PMLW–leaf blade length measured from the leaf base to the point of maximum leaf width (cm); LW90–leaf blade width at 90% of the leaf blade length (cm); LA10–angle closed by the main leaf vein and the line defined by the leaf blade base and the point on the leaf margin, at 10% (°); PL–petiole length (cm); MLW/LL–maximum leaf width/leaf blade length; PMLW/LL–leaf blade length measured from the leaf base to the point of maximum leaf width/leaf blade length. Descriptive parameters: M–arithmetic mean, SD–standard deviation; Min–Max–range; and CV–coefficient of variation (%).

Trait	Descriptive parameters	Population			Total
		Zavižan	Zečjak	Kiza	
m	M±SD	0.22±0.06	0.25±0.06	0.24±0.06	0.24±0.06
	Min–Max	0.15–0.35	0.19–0.37	0.18–0.35	0.15–0.37
	CV (%)	28.06	22.88	23.82	24.45
FH	M±SD	6.68±0.77	6.69±0.43	6.71±0.49	6.69±0.56
	Min–Max	5.69–8.39	5.95–7.62	5.97–7.31	5.69–8.39
	CV (%)	11.51	6.49	7.35	8.42
FW	M±SD	7.51±0.61	7.86±0.76	7.80±0.61	7.73±0.66
	Min–Max	6.51–8.48	6.92–9.40	7.22–9.10	6.51–9.40
	CV (%)	8.18	9.70	7.85	8.58
FH/FW	M±SD	0.89±0.07	0.85±0.06	0.86±0.06	0.87±0.06
	Min–Max	0.80–0.99	0.79–0.95	0.80–0.97	0.79–0.99
	CV (%)	7.57	6.81	6.75	7.05
LA	M±SD	0.79±0.21	0.82±0.23	0.77±0.16	0.79±0.19
	Min–Max	0.49–1.17	0.59–1.28	0.52–0.97	0.49–1.28
	CV (%)	26.02	27.33	21.03	24.41
P	M±SD	3.68±0.53	3.81±0.44	3.87±0.55	3.79±0.50
	Min–Max	2.72–4.63	3.25–4.59	3.07–4.64	2.72–4.64
	CV (%)	14.27	11.66	14.12	13.09
LL	M±SD	1.48±0.22	1.55±0.17	1.59±0.24	1.54±0.21
	Min–Max	1.06–1.85	1.31–1.81	1.23–1.95	1.06–1.95
	CV (%)	14.63	10.73	15.24	13.56
MLW	M±SD	0.72±0.09	0.72±0.13	0.67±0.07	0.70±0.10
	Min–Max	0.61–0.88	0.60–0.95	0.57–0.77	0.57–0.95
	CV (%)	12.88	17.67	10.65	14.20
PMLW	M±SD	0.89±0.13	0.93±0.09	1.01±0.17	0.94±0.14
	Min–Max	0.63–1.12	0.80–1.07	0.78–1.27	0.63–1.27
	CV (%)	14.85	10.06	17.02	14.97
LW90	M±SD	0.46±0.06	0.45±0.08	0.43±0.04	0.45±0.06
	Min–Max	0.41–0.57	0.37–0.61	0.40–0.49	0.37–0.61
	CV (%)	12.32	18.71	8.78	13.72
LA10	M±SD	39.33±3.87	40.48±4.16	36.23±5.01	38.68±4.60
	Min–Max	34.11–45.60	33.75–46.30	27.80–43.90	27.80–46.30
	CV (%)	9.85	10.29	13.84	11.89
PL	M±SD	0.41±0.09	0.44±0.09	0.43±0.05	0.43±0.07
	Min–Max	0.28–0.60	0.31–0.61	0.34–0.56	0.28–0.61
	CV (%)	20.70	19.65	12.60	17.50
MLW/LL	M±SD	0.49±0.04	0.47±0.05	0.42±0.04	0.46±0.05
	Min–Max	0.45–0.59	0.40–0.56	0.34–0.47	0.34–0.59
	CV (%)	8.12	11.80	9.28	11.51
PMLW/LL	M±SD	0.60±0.02	0.60±0.02	0.63±0.02	0.61±0.03
	Min–Max	0.55–0.64	0.58–0.64	0.59–0.66	0.55–0.66
	CV (%)	3.73	3.01	3.45	4.16

Table 3 The results of correlation analysis between studied leaf and fruit traits. Morphometric traits' acronyms as in Table 2. *** significant at $p < 0.001$, ** significant at $0.001 < p < 0.01$, * significant at $0.01 < p < 0.05$, ns depicts non-significant values ($p > 0.05$).

Trait	m	FH	FW	FH/FW	LA	P	LL	MLW	PMLW	LW90	LA10	PL	MLW/LL	PMLW/LL
m		***	***	ns	***	***	***	**	***	*	ns	*	ns	ns
FH	0.772		***	*	***	***	***	**	***	**	ns	**	ns	ns
FW	0.955	0.652		*	**	**	**	*	**	*	ns	ns	ns	ns
FH/FW	-0.227	0.407	-0.425		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
LA	0.637	0.727	0.576	0.166		***	***	***	***	***	ns	***	ns	ns
P	0.683	0.741	0.586	0.182	0.915		***	***	***	***	*	***	ns	ns
LL	0.680	0.722	0.579	0.171	0.850	0.988		***	***	**	**	***	*	ns
MLW	0.506	0.584	0.464	0.125	0.933	0.730	0.629		**	***	ns	**	*	ns
PMLW	0.616	0.649	0.505	0.175	0.723	0.929	0.959	0.474		**	***	**	**	*
LW90	0.459	0.573	0.426	0.154	0.893	0.704	0.596	0.936	0.505		ns	**	*	ns
LA10	-0.228	-0.128	-0.087	-0.063	-0.071	-0.416	-0.508	0.146	-0.645	0.130		ns	***	***
PL	0.431	0.554	0.325	0.256	0.617	0.632	0.600	0.488	0.581	0.556	-0.171		ns	ns
MLW/LL	-0.195	-0.175	-0.118	-0.088	0.096	-0.292	-0.420	0.426	-0.551	0.392	0.738	-0.161		**
PMLW/LL	-0.019	-0.036	-0.081	0.061	-0.178	0.094	0.160	-0.344	0.430	-0.119	-0.625	0.134	-0.589	

detected between fruit traits and traits related to leaf shape, or between leaf traits and FW/FH, i.e. the trait describing the shape of the fruit.

The first three principal components had eigenvalues above 1 and accounted for 84.7% of total variability (Table 4). The first principal component (PC1) was highly positively correlated with nine leaf and fruit traits (P, LL, LA, PMLW, FH, m, MLW, LW90 and FW), all referring to the size of the leaf and fruit. The second principal component (PC2) was highly positively correlated with two leaf traits (MLW/LL and LA10), and highly negatively with one leaf trait (PMLW(LL), whereas the third principal component was highly positively correlated with one fruit trait (FH/FW). The traits highly positively or negatively correlated with the second and third principal component relate to the leaf and fruit shape. Furthermore, there was no clear grouping of individuals by population within the studied data.

At the level of individual traits, the populations differed in only one (MLW/LL) of the 14 studied morphological traits (Table 5). AMOVA demonstrated that the differences between the studied individuals within the populations account for 100% of the total variability. Furthermore, to determine the diversity within each of the studied populations, multivariate diversity index (MDI) values were calculated. The MDI values in the studied populations (Table 1), based on fruit and leaf morphological traits, ranged from 3.542 (P3–Kiza) to 4.164 (P3–Zavižan).

Table 4 Pearson's correlation coefficients between morphometric traits and scores of the first three principal components. Morphometric traits' acronyms as in Table 2.

Trait	PC–principal component		
	PC1	PC2	PC3
m	0.795	0.007	-0.521
FH	0.837	0.055	0.064
FW	0.700	0.095	-0.675
FH/FW	0.154	-0.068	0.884
LA	0.929	0.304	0.107
P	0.970	-0.094	0.075
LL	0.945	-0.221	0.043
MLW	0.770	0.569	0.130
PMLW	0.881	-0.428	0.069
LW90	0.762	0.487	0.197
LA10	-0.323	0.831	-0.008
PL	0.692	-0.025	0.258
MLW/LL	-0.202	0.915	0.070
PMLW/LL	0.069	-0.784	0.106
Eigenvalue	7.12	3.06	1.67
Variability (%)	50.87	21.83	11.96
Cumulative variability (%)	50.87	72.70	84.66

DISCUSSION

The leaf dimensions of *A. uva-ursi* obtained in this research were consistent with the data provided in the botanical literature (Krüssmann 1962, Schütt 2008). Specifically, the average leaf in Croatian bearberry populations measured 1.5 cm in length and 0.7 cm in width, which falls within the respective ranges of 1–3

Table 5 The results of the hierarchical analysis of variance. Morphometric traits' acronyms as in Table 2.

Trait	Components of the variance	F	p-value	Variability (%)
m	Among populations	0.55	0.58	0.00
	Within populations	47.39	0.00	66.17
	Error			33.83
FH	Among populations	0.00	1.00	0.00
	Within populations	34.90	0.00	58.82
	Error			41.18
FW	Among populations	0.81	0.45	0.00
	Within populations	41.14	0.00	63.09
	Error			36.91
FH/FW	Among populations	0.99	0.39	0.00
	Within populations	46.66	0.00	67.10
	Error			32.90
LA	Among populations	0.22	0.80	0.00
	Within populations	21.83	0.00	49.57
	Error			50.43
P	Among populations	0.35	0.71	0.00
	Within populations	22.81	0.00	50.97
	Error			49.03
LL	Among populations	0.72	0.50	0.00
	Within populations	24.05	0.00	53.03
	Error			46.97
MLW	Among populations	1.01	0.38	0.05
	Within populations	20.34	0.00	49.14
	Error			50.81
PMLW	Among populations	2.04	0.15	4.82
	Within populations	18.18	0.00	43.98
	Error			51.20
LW90	Among populations	0.44	0.65	0.00
	Within populations	13.88	0.00	38.16
	Error			61.84
LA10	Among populations	2.52	0.10	8.29
	Within populations	27.80	0.00	52.52
	Error			39.19
PL	Among populations	0.33	0.73	0.00
	Within populations	16.17	0.00	41.90
	Error			58.10
MLW/LL	Among populations	6.33	0.01	15.75
	Within populations	18.32	0.00	41.78
	Error			42.48
PMLW/LL	Among populations	2.67	0.08	9.62
	Within populations	4.93	0.00	14.34
	Error			73.04

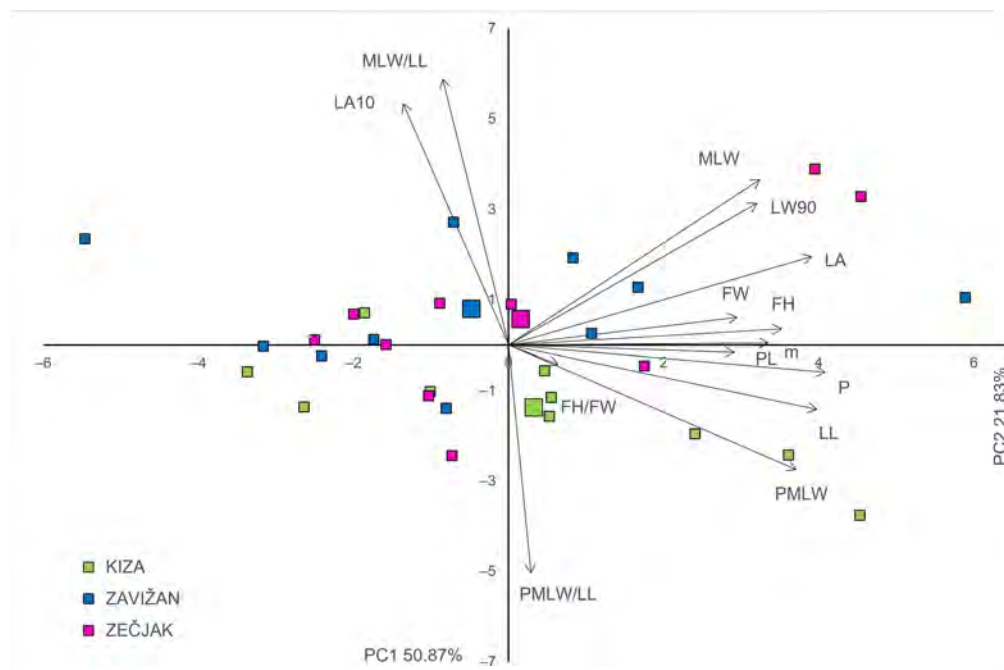


Figure 2 Biplot of the principal component analysis (PCA) based on 14 fruit and leaf morphometric traits in the studied bearberry populations. Each individual shrub is indicated by a small sign, while the population barycenters are represented by larger ones. Morphometric traits' acronyms as in Table 2.

cm and 0.5–1 cm listed by the mentioned authors. The same applies to the dimensions of the fruits, which, with an average height of 6.7 mm, fall within the range of 6–8 mm specified by Schütt (2008) and Idžojić (2019). Furthermore, bearberry demonstrated moderate coefficients of variability, ranging from 7.1 to 24.5% in fruit morphology, and from 4.2 to 24.4% in leaf morphology. This represents approximately half the variability of another Arctic-alpine species, *Dryas octopetala*, whose variability of comparable traits ranged from 27.6 to 56.2% (Marcysiak 2014).

Significant correlations were found between both fruit and leaf morphometric traits. These findings align with general expectations, as it is well-known that when one dimension of a fruit or leaf increases, other related dimensions also tend to increase, indicating the linked nature of their development. Furthermore, significant correlations were also found between bearberries' leaf and fruit morphological traits, particularly those related to leaf and fruit size. In other words, shrubs with smaller leaves had smaller fruits, and vice versa. Such correlation analyses are rarely conducted and often result in no significant correlations or only weak ones (Poljak et al. 2024b). Nonetheless, our results align with the findings of Fishler et al. (1983), who highlight leaf area as a crucial factor influencing fruit growth. A larger photosynthetically active leaf area could contribute more to better fruit development, ultimately affecting fruit size. The finding that bearberry populations on Velebit do not differ significantly is indeed unexpected, given the typical

genetic differentiation observed in alpine landscapes with high mountain ridges and steep valleys, which often limit gene flow among plant populations (Cain et al. 2000, Theurillat and Guisan 2001). This usually results in stronger genetic differentiation among populations compared to more homogeneous landscapes (Till-Bottraud and Gaudeul 2002). Alternatively, heterogeneity across small spatial scales in these habitats could also favour adaptive phenotypic plasticity (Alpert and Simms 2002, Hamann et al. 2016). However, in our study, 100% of the morphological variability was attributed to within-population variability. This suggests effective and strong gene flow between populations, which in the case of the bearberry populations can be explained by the movement of the wildlife, such as deer, bears, and various small mammals and bird species, which feed on bearberry fruits (Crane 1991), and the historical and ongoing pastoral movements on the Velebit Mountain (Alegro and Šegota 2019). This human-mediated seed dispersal, along the wildlife gene flow, could counteract the population isolation typically caused by the rugged alpine terrain. In general, such effective gene flow ensures a healthy and resilient ecosystem by maintaining genetic diversity within plant populations, which is essential for their long-term survival and adaptability (Ellstrand and Elam 1993, Frankham 1996).

Furthermore, another possible explanation for the lack of differentiation between the studied populations might stem from their evolutionary history and recolonization processes after the last glaciation. Considering their

geographical proximity, it is safe to assume they originated from the same refugial area. Comparable patterns of limited population differentiation, or more precisely, the absence of significant differentiation, have also been observed in other woody species, such as *Juniperus deltoides* R.P.Adams (Brus et al. 2010) and *Salix reticulata* L. (Marcysiak 2012).

Contrary to the assumption that altitude affects plant morphology (Körner et al. 1989, Cruz-Maldonado et al. 2021), our research shows that the bearberry populations we studied did not show any variations in their leaf and fruit morphology along the altitudinal gradient. This lack of phenotypic plasticity could be due to several reasons. Firstly, such a small, procumbent shrub with evergreen and small leaves may exhibit less morphological plasticity compared to physiological traits due to the inherent stability of structural characteristics in response to environmental changes (Arnold et al. 2022). Additionally, we cannot exclude the possibility that some morpho-anatomical traits, such as leaf thickness and stomatal density, in bearberry populations that we studied change with altitude, which has been previously reported in alpine plants (Bertel et al. 2022). Furthermore, similar soil conditions in mountainous pastures where these populations are located may have favoured the same phenotypes and the absence of phenotypic plasticity. Such consistent environmental conditions across different altitudes could lead to uniform selection pressure, resulting in similar leaf and fruit morphological traits despite the variation in altitude. Finally, studies on alpine plants, such as *Arabis alpina* L. (de Villemereuil et al. 2018), have indicated that populations from higher altitudes often exhibit reduced phenotypic plasticity compared to those from lower altitudes. This reduced plasticity could be explained by the extreme and stable environmental conditions at higher altitudes, which favour more specialized and less plastic traits. Nevertheless, although we did not find variations in leaf and fruit morphology along the altitudinal gradient, we did observe that population diversity changes with altitude. Specifically, the population from the lowest elevation exhibited the least variability, while the population from the highest elevation showed the greatest diversity.

Along with effective gene flow and the size of bearberry populations, an additional factor that positively affects the maintenance of high diversity within populations is the fact that these populations are located within national parks and nature parks. Protected areas are known to play a key role in biodiversity conservation and in reducing exploitation of the species of interest, leading to greater species richness and its abundance (Gray et

al. 2016, Cavalcante de Souza and Prevedello 2020). The legal protection helps to ensure the conservation of bearberry's genetic diversity, which is crucial for its long-term survival. Protecting such species in their natural habitats is essential for maintaining overall biodiversity and ecosystem stability (Hanjalić Kurtović et al. 2025). In general, the protection of mountain plants involves preserving their natural habitats, preventing habitat fragmentation, and mitigating the impacts of climate change. As the results of our study indicate, conservation efforts should also focus on maintaining traditional land-use practices that support biodiversity, such as sustainable grazing. Legal protection, public awareness, and scientific research including long-term monitoring are essential components in the effective conservation of these species.

CONCLUSIONS

The study revealed several important conclusions regarding the morphological variability of bearberry populations in the Dinaric Alps. Firstly, the observed morphological variability in fruit and leaf traits was generally moderate. This moderate variability aligns with previous studies on similar species in different regions, suggesting a stable pattern of morphological variability within this species. Significant correlations were identified among both fruit and leaf traits, as well as between them, which supports the notion that leaf area significantly influences fruit development, highlighting the connection of vegetative growth and reproductive success. No significant differences were found among populations, as all variability was being attributed to within-population differentiation. This unexpected pattern of morphological variability could be explained by several factors: the effective gene flow facilitated by the movement of wildlife and human-mediated seed dispersal through traditional pastoral practices; the evolutionary history and recolonization processes after the last glaciation; and the absence of phenotypic plasticity in structural traits. All in all, our study emphasizes the importance of conservation efforts in maintaining species diversity and ecosystem stability. The legal protection of bearberry populations within the Northern Velebit National Park and Velebit Nature Park appears to play a crucial role in preserving the diversity of bearberry populations.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was funded by the University of Zagreb financial support. We thank the kind staff of the Northern Velebit National Park for their assistance. Permission to collect plants was granted by the Ministry of Economy and Sustainable Development (UP/I 612-07/21-33/57).

REFERENCES

- Ægisdóttir, H.H., P. Kuss, J. Stöcklin, 2009: Isolated populations of a rare alpine plant show high genetic diversity and considerable population differentiation. *Annals of Botany* 104 (7): 1313–1322. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp242>.
- Alegro, A., V. Šegota, 2019: Diversity and endangerment of the grasslands of the Northern Velebit National park. *Senjski zbornik* 46: 61–80. <https://doi.org/10.31953/sz.46.1.3>.
- Alpert, P., E.L. Simms, 2002: The relative advantages of plasticity and fixity in different environments: when is it good for a plant to adjust? *Evolutionary Ecology* 16: 285–297. <https://doi.org/10.1023/A:1019684612767>.
- Arnold, P.A., S. Wang, A.B. Nicotra, A.A. Catling, L.E.B. Kruuk, 2022: Patterns of phenotypic plasticity along a thermal gradient differ by trait type in an alpine plant. *Functional Ecology* 36 (1): 141–152. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.14128>.
- Asensio, E., D. Vitales, I. Pérez, L. Peralba, J. Viruel, C. Montaner, J. Vallès, T. Garnatje, E. Sales, 2020: Phenolic compounds content and genetic diversity at population level across the natural distribution range of bearberry (*Arctostaphylos uva-ursi*, Ericaceae) in the Iberian Peninsula. *Plants* 9: 1250. <https://doi.org/10.3390/plants9091250>.
- Bertel, C., D. Kaplenig, M. Ralser, E. Arc, F. Kolář, G. Wos, K. Hülber, A. Holzinger, I. Kranner, G. Neuner, 2022: Parallel differentiation and plastic adjustment of leaf anatomy in Alpine *Arabidopsis arenosa* Ecotypes. *Plants* 11 (19): 2626. <https://doi.org/10.3390/plants11192626>.
- Birks H.J.B., K.J. Willis, 2008: Alpines, trees, and refugia in Europe. *Plant Ecology & Diversity* 1 (2): 147–160. <https://doi.org/10.1080/17550870802349146>.
- Bradburd, G.S., P.L. Ralph, G.M. Coop, 2013: Disentangling the effects of geographic and ecological isolation on genetic differentiation. *Evolution* 67 (11): 3258–3273. <https://doi.org/10.1111/evo.12193>.
- Brus, R., D. Ballian, P. Zhelev, M. Pandža, M. Bobinac, J. Acevski, Y. Raftoyannis, K. Jarni, 2010: Absence of geographical structure of morphological variation in *Juniperus oxycedrus* L. subsp. *oxycedrus* in the Balkan Peninsula. *European Journal of Forest Research* 130 (4): 657–670. <https://doi.org/10.1007/s10342-010-0457-1>.
- Cain, M.L., B.G. Milligan, A.E. Strand, 2000: Long-distance seed dispersal in plant populations. *American Journal of Botany* 87 (9): 1217–1227. <https://doi.org/10.2307/2656714>.
- Cavalcante de Souza, A., J.A. Prevedello, 2020: The importance of protected areas for overexploited plants: Evidence from a biodiversity hotspot. *Biological Conservation* 243: 108482. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108482>.
- Crane, M.F., 1991: *Arctostaphylos uva-ursi*. In: Fire Effects Information System, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Laboratory. <https://www.fs.usda.gov/database/feis/plants/shrub/arcuva/all.html>
- Cruz-Maldonado, N., M. Weemstra, L. Jiménez, C. Roumet, G. Angeles, I. Barois, M. de los Santos, M.A. Morales-Martinez, R.A. Palestina, H. Rey, K. Sieron, A. Stokes, F. Anthelme, 2021: Aboveground-trait variations in 11 (sub)alpine plants along a 1000-m elevation gradient in tropical Mexico. *Alpine Botany* 131: 187–200. <https://doi.org/10.1007/s00035-021-00260-z>.
- de Villemereuil, P., I. Till-Bottraud, M. Mouterde, O.E. Gaggiotti, 2018: Patterns of phenotypic plasticity and local adaptation in the wide elevation range of the alpine plant *Arabis alpine*. *Journal of Ecology* 106 (5): 1952–1969. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12955>.
- Depypere, L., P. Chaerle, K.V. Mijnsbrugge, P. Goetghebeur, 2007: Stony endocarp dimension and shape variation in *Prunus* section *Prunus*. *Annals of Botany* 100 (7): 1585–1597. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm260>.
- Ellstrand, N.C., D.R. Elam, 1993: Population genetic consequences of small population size: Implications for plant conservation. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 24: 217–242. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.es.24.110193.001245>.
- Excoffier, L., H.E.L. Lischer, 2010: Arlequin suite ver. 3.5: a new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows. *Molecular Ecology Resources* 10 (3): 564–567. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02847.x>.
- Excoffier, L., P.E. Smouse, J.M. Quattro, 1992: Analysis of molecular variance inferred from metric distances among DNA haplotypes: application to human mitochondrial DNA restriction sites. *Genetics* 131 (2): 479–491. <https://doi.org/10.1093/genetics/131.2.479>.
- Fishler, M., E. Goldschmidt, S.P. Monselise, 1983: Leaf area and fruit size on gridded grapefruit branches. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 108 (2): 218–221. <https://doi.org/10.21273/JASHS.108.2.218>.
- Forenbacher, S., 1990: Velebit i njegov biljni svijet. Školska knjiga, Zagreb.
- Frankham, R., 1996: Relationship of genetic variation to population size in wildlife. *Conservation Biology* 10 (6): 1500–1508. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1996.10061500.x>.
- Gray, C., S. Hill, T. Newbold, L.N. Hudson, L. Börger, S. Contu, A.J. Hoskins, S. Ferrier, A. Purvis, J.P.W. Scharlemann, 2016: Local biodiversity is higher inside than outside terrestrial protected areas worldwide. *Nature Communications* 7: 12306. <https://doi.org/10.1038/ncomms12306>.
- Hamann, E., H. Kesselring, G.F.J. Armbruster, J.F. Scheepens, J. Stöcklin, 2016: Evidence of local adaptation to fine- and coarse-grained environmental variability in *Poa alpina* in the Swiss Alps. *Journal of Ecology* 104 (6): 1620–1630. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12628>.
- Hanjalić Kurtović, J., B. Kalamujić Stroil, S. Siljak-Yakovlev, N. Pojskić, A. Durmić-Pašić, A. Hajrudinović-Bogunić, L. Lasić, L. Ušanović, F. Bogunić, 2025: Spatial distribution of genetic, ploidy, and morphological variation of the edaphic steno-endemic *Alyssum moellendorffianum* (Brassicaceae) from the Western Balkans. *Plants* 14: 146. <https://doi.org/10.3390/plants14020146>.
- Herman, J., 1971: Šumarska dendrologija. Stanbiro, Zagreb.
- Idžojić, M., 2019: Dendrology: Cones, flowers, fruits and seeds. Elsevier-Academic Press, London, San Diego, Cambridge, Oxford.
- Körner, C., M. Neumayer, S. Menendez-Riedl, A. Smeets-Scheel, 1989: Functional morphology of mountain plants. *Flora* 182: 353–383. [https://doi.org/10.1016/S0367-2530\(17\)30426-7](https://doi.org/10.1016/S0367-2530(17)30426-7).
- Kougiumoutzis, K., I.P. Kokkoris, A. Strid, T. Raus, P. Dimopoulos, 2021: Climate-change impacts on the southernmost Mediterranean Arctic-Alpine plant populations. *Sustainability* 13 (24): 13778. <https://doi.org/10.3390/su132413778>.
- Koutecký, P., 2015: MorphoTools: A set of R functions for morphometric analysis. *Plant Systematics and Evolution* 301: 1115–1121. <https://doi.org/10.1007/s00606-014-1153-2>.
- Kravchenko, G., O. Krasilnikova, A. Raal, M. Mazen, N. Chaika, I. Kireyev, A. Grytsyk, O. Koshovyi, 2022: *Arctostaphylos uva-ursi* L. leaves extract and its modified cysteine preparation for the management of insulin resistance: chemical analysis and bioactivity. *Natural Products and Bioprospecting* 12 (1): 30. <https://doi.org/10.1007/s13659-022-00352-1>.
- Krüssmann, G., 1962: Handbuch der Laubgehölze. Paul Parkey Verlag, Berlin.
- Lesica, P., B. McCune, 2004: Decline of arctic-alpine plants at the southern margin of their range following a decade of climatic warming. *Journal of Vegetation Science* 15 (5): 679–690. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2004.tb02310.x>.

- Liber, Z., B. Surina, T. Nikolić, D. Škrtić, Z. Šatović, 2020: Spatial distribution, niche ecology and conservation genetics of *Degenia velebitica* (Brassicaceae), a narrow endemic species of the north-western Dinaric Alps. *Plant Systematics and Evolution* 306: 64. <https://doi.org/10.1007/s00606-020-01695-3>.
- Marcysiak, K., 2012: Diversity of *Salix reticulata* L. (Salicaceae) leaf traits in Europe and its relation to geographical position. *Plant Biosystems* 146: 101–111. <https://doi.org/10.1080/11263504.2012.727879>
- Marcysiak, K., 2014: Geographical differentiation of *Dryas octopetala* in Europe based on morphological features. *Dendrobiology* 72: 113–123. <http://dx.doi.org/10.12657/denbio.072.010>.
- Marković, Lj., Z. Liber, M. Palković, 2005: *Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng. (HRC002605). Crveni popis divljih vrsta Hrvatske, Zavod za zaštitu okoliša i prirode Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja, Zagreb.
- Médail, F., A.C. Monnet, D. Pavon, T. Nikolić, P. Dimopoulos, G. Bacchetta, J. Arroyo, Z. Barina, M.C. Albassatneh, G. Domina, B. Fady, V. Matevski, S. Mifsud, A. Leriche, 2019: What is a tree in the Mediterranean Basin hotspot? A critical analysis. *Forest Ecosystems* 6: 17. <https://doi.org/10.1186/s40663-019-0170-6>.
- Médail, F., K. Diadema, 2009: Glacial refugia influence plant diversity patterns in the Mediterranean Basin. *Journal of Biogeography* 36: 1333–1345. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2008.02051.x>.
- Poljak, I., Z. Šatović, A. Vidaković, K. Tumpa, M. Idžojić, 2024a: Population variability of rosemary willow (*Salix eleagnos* Scop.) based on the leaf morphometry: Evidence of small and large-leaf morphotypes. *Šumarski list* 148 (5–6): 219–235. <https://doi.org/10.31298/sl.148.5-6.1>.
- Poljak, I., A. Vidaković, L. Benić, K. Tumpa, M. Idžojić, Z. Šatović, 2024b: Patterns of leaf and fruit morphological variation in marginal populations of *Acer tataricum* L. subsp. *tataricum*. *Plants* 13: 320. <https://doi.org/10.3390/plants13020320>.
- R Core Team, 2016: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <http://www.R-project.org/>
- Remphrey, W.R., T.A. Steeves, B.R. Neal, 1983: The morphology and growth of *Arctostaphylos uva-ursi* (bearberry): An architectural analysis. *Canadian Journal of Botany* 61 (9): 2430–2450. <https://doi.org/10.1139/b83-267>
- Ronikier, M., N. Kuzmanović, D. Lakušić, I. Stevanoski, Z. Nikolov, N.E. Zimmermann, 2023: High-mountain phylogeography in the Balkan Peninsula: Isolation pattern in a species of alpine siliceous grasslands and its possible background. *Alpine Botany* 133: 101–115. <https://doi.org/10.1007/s00035-023-00296-3>.
- Schütt, P., U.M. Lang, 2008: *Enzyklopädie der Holzgewächse*, Wiley-VCH, Weinheim.
- Shamilov, A.A., V.N. Bubenchikova, M.V. Chernikov, D.I. Pozdnyakov, E.R. Garsiya, M.V. Larsky, 2021: Bearberry (*Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng.): chemical content and pharmacological activity. *Journal of Experimental Food Chemistry* 12 (3): 49–66.
- Sokal, R.R., F.J. Rohlf, 2012: *Biometry: The principles and practice of statistics in biological research*. W.H. Freeman and Co., New York.
- Statistica, 2018: Version 13, TIBCO Software Inc., Palo Alto. <http://www.statsoft.com>.
- Sugier, P., Ł. Sęczyk, D. Sugier, R. Krawczyk, M. Wójcik, J. Czarnecka, S. Okoń, A. Plak, 2021: Chemical characteristics and antioxidant activity of *Arctostaphylos uva-ursi* L. Spreng. at the Southern border of the geographical range of the species in Europe. *Molecules* 26 (24): 7692. <https://doi.org/10.3390/molecules26247692>.
- Theurillat, J.P., A. Guisan, 2001: Potential impact of climate change on vegetation in the European Alps: A review. *Climatic Change* 50: 77–109. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1010632015572>.
- Till-Bottraud, I., M. Gaudeul, 2002: Intraspecific genetic diversity in Alpine plants. In (Körner, C., E.M. Spehn, eds.): *Mountain biodiversity: A global assessment*. Parthenon Publishing, New York, pp. 23–34.
- Topić J., T. Nikolić, N. Vuković, 2010: *Velebit – Botanički važna područja Hrvatske* (Botanically relevant areas of Croatia). Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno-matematički fakultet, Školska knjiga, Zagreb.
- Walas, Ł., M. Pietras, M. Mazur, Á. Romo, L. Tasenkevich, Y. Didukh, A. Boratyński, 2023: The perspective of Arctic–Alpine species in southernmost localities: The example of *Kalmia procumbens* in the Pyrenees and Carpathians. *Plants* 12 (19): 3399. <https://doi.org/10.3390/plants12193399>.
- Watts, S.H., D.K. Mardon, C. Mercer, D. Watson, H. Cole, R.F. Shaw, A.S. Jump, 2022: Riding the elevator to extinction: Disjunct arctic-alpine plants of open habitats decline as their more competitive neighbours expand. *Biological Conservation* 272: 109620. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109620>.
- WFO, 2024: World Flora Database Online. <https://wfoplantlist.org/>
- WinFolia™, 2001: version PRO 2005b. Regent Instruments Inc., Quebec City.



HRVATSKA KOMORA
INŽENJERA ŠUMARSTVA
I DRVNE TEHNOLOGIJE

Uvidi i naučene lekcije

Analiza prikupljenih praksi diljem Dunavske regije dala je vrijedne uvide koji mogu oblikovati buduće inicijative za orijentaciju karijere u šumarstvu. Ove lekcije ističu što funkcionira, zašto funkcionira i pod kojim uvjetima se može uspješno prenijeti u druge kontekste.

- 1. Započnite rano i održite kontinuitet:** Rana karijerna orijentacija pomaže u razbijanju stereotipa i uspostavljanju pozitivnih asocijacija sa šumarstvom. Kontinuirana uključenost tijekom obrazovnog puta učenika jača znatiželju i gradi relevantne vještine.
- 2. Izloženost stvarnom svijetu potiče angažman:** Terenska iskustva i interakcije sa stručnjacima donose autentičnost karijernom usmjeravanju, pomažući mladima da bolje razumiju i povežu se s ulogama u šumarstvu.
- 3. Vidljivost i zastupljenost su važne:** Predstavljanje žena u šumarstvu kao mentorica, stručnjakinja i liderica dovodi u pitanje rodne norme i proširuje karijerne težnje.



Interreg
Danube Region



Co-funded by
the European Union

Fem2forests

Primjeri dobre prakse karijerne orijentacije u šumarstvu

Zbirka primjera dobre prakse koji pomažu u borbi protiv stereotipa i potiču znatiželju za svijet šumarstva

Lipanj 2025.

- 4. Inovacija potiče angažman:** Interaktivni formati, pripovijedanje i digitalni alati pomažu u razumijevanju i privlačnosti složenih šumarskih tema.
- 5. Prilagođavanje lokalnim realnostima povećava relevantnost:** Prakse osjetljive na kontekst odražavaju vrijednosti zajednice, čineći karijerne puteve dostupnima i ostvarivima.
- 6. Participativni pristupi osnažuju učenike:** Uključenost mladih u oblikovanje sadržaja i izvedbe povećava odgovornost i utjecaj.
- 7. Interdisciplinarna i međusektorska suradnja povećava utjecaj:** Partnerstva između edukatora, stručnjaka i aktera u zajednici donose raznolikost stručnosti u proces učenja.
- 8. Održivost dodaje značenje:** Pozicioniranje šumarstva kao rješenja za globalne izazove pojačava njegovu relevantnost i inspirira izbore karijere vođene takvim vrijednostima.

Fem2forests projekt

Pratite nas

Neka ovo bude početna točka, a ne kraj.
Budućnost šumarstva ovisi o tome koga u njega pozovemo



COMBINING SATELLITE TIME-SERIES AND TREE GROWTH DATA OF PEDUNCULATE OAK, TURKEY OAK, EUROPEAN BEECH AND SCOTS PINE

Dejan B. STOJANOVIĆ^{1*}, Tom LEVANIČ², Srđan STOJNIĆ¹, Bratislav MATOVIĆ¹, Lazar PAVLOVIĆ³, Vladimir VIŠACKI¹, Bojan TUBIĆ⁴, Marko MARINKOVIĆ⁴, Saša ORLOVIĆ^{1,3}

SUMMARY

There are still unexplored connections between tree growth and remotely sensed time-series waiting to be discovered. Research results that combine dendrochronological data (tree-ring widths) and remotely sensed image time-series are generally scarce. We provide new findings that relate to the radial growth of different tree species (pedunculate and Turkey oak, European beech and Scots pine) and MODIS Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Enhanced Vegetation Index (EVI) and Land Surface Temperatures (LST) daytime and night-time time-series. Significant correlations between MODIS observations (from 2000 to 2013, averaged to monthly and annual values) and radial growth of the trees have been found. All four tree species were statistically related to each of the four indices for some specific months within the growing season. LSTd annual values were significantly related to the radial growth of three species (Turkey oak, beech and pine) and annual EVI and LSTn to a single species (pine and beech, respectively). NDVI did not statistically correlate ($p < 0.05$) with any of the tree-ring width chronologies. Values of EVI were statistically negatively related to Scots pine growth patterns (coefficient -0.546). LSTd was statistically related to the growth of Turkey oak (coefficient -0.571), European beech (coefficient -0.538) and Scots pine (coefficient -0.569), while LSTn had a high negative correlation with European beech (coefficient -0.674).

KEY WORDS: dendroecology, tree-ring widths, MODIS, *Quercus robur*, *Quercus cerris*, *Fagus sylvatica*, *Pinus sylvestris*

INTRODUCTION

Dendrochronology is a discipline that primarily deals with the dating of historical events allowing the release of records about natural environmental processes and human-induced changes including past temperatures, precipitation, wildfires, insect outbreaks, wind breaks, landslides, etc. According to its specific focus it can be divided into: dendroarchaeology, dendroclimatology, dendroecology, dendrochemistry and dendrogeomorphology (Speer 2010). Time-series obtained using

dendrochronological methods are about 12,500 years old for some specific regions (Friedrich et al. 2004). The application of dendrochronological methods ranges from, for example, obtaining more precise information on the timber trade in the past (relating wood with climate conditions and specific area) (Haneca et al. 2009) and precise dating of musical instruments (examining whether the masterpiece “The Messiah” violin attributed to Stradivari was produced when it was suggested) (Topham and McCormack 2000) to the reconstruction of snow avalanches (Butler and Sawyer 2008) and

¹ Dejan B. Stojanović, Srđan Stojnić, Bratislav Matović, Vladimir Višacki, Saša Orlović, Institute of Lowland Forestry and Environment, University of Novi Sad, Serbia

² Tom Levanič, Faculty for Mathematics, Natural Sciences and Information Technologies, University of Primorska, Koper, Slovenia / Slovenian Forestry Institute, Ljubljana, Slovenia

³ Lazar Pavlović, Saša Orlović, Faculty of Agriculture, University of Novi Sad, Serbia

⁴ Bojan Tubić, Marko Marinković, Public Forest Enterprise “Vojvodinašume”, Novi Sad, Serbia

* Corresponding author: Dejan B. Stojanović, email: dejan.stojanovic@uns.ac.rs

observation of pollutant increase in urban environments such as a significant increase in the platinum group of elements in Mexico City after 1997 (Morton-Bermea et al. 2016).

Dendroecology (formulated as such by Fritts 1971) tackles specific processes within local environments. It includes forest ecology and as such it can be successfully used for better understanding of the complex questions within the phenomena of tree growth, such as the effects of forest mixing on growth (Pretzsch et al. 2015), variations in the accumulation of carbon in forests (Klesse et al. 2016), the impact of specific forest management measures on radial growth (Vitali et al. 2016), the impact of river water table on oak growth (Stojanovic et al. 2015a), the relation between weather events and growth (Stjepanović et al. 2018) or forest age and past forest disturbances through centuries (Nagel et al. 2016). Moreover, dendrochronological methods can be enriched with chemical analysis, such as stable carbon isotope measurements, which can provide important answers related to tree growth, decline and mortality (Kostić et al. 2019). As shortly presented, tree-ring time-series obtained by applying the principles of dendrochronology regarding sampling and chronology processing have great potential in the analysis of different research questions within various fields.

LANDSAT program with more than 40 years of its legacy, together with MODIS program and recently established SENTINEL, provides a large amount of freely available satellite imagery time-series data that with their spatial and temporal resolution have potential to completely reshape the fields of agriculture, forestry, water management or biodiversity conservation.

Numerous applications and new methods for the analysis of image time-series have arisen after the public release of LANDSAT data in 2008 (Woodcock et al. 2008): from forest monitoring (Banskota et al. 2014), mapping of deforestation and forest degradation (Olofsson et al. 2016, DeVries et al. 2016), to the assessment of forest disturbances (Masek et al. 2013, Moisen et al. 2016), forest productivity (Boisvenue et al. 2016) and quantifying forest growth declines (Morin-Bernard et al. 2024).

MODIS time-series (1999 to date) have had various applications, such as the mapping of abandoned farmland (Alcantara et al. 2013), cropland-use intensity (Estel et al. 2016), drought detection (Wu et al. 2016), water management (Autovino et al. 2016), biological conservation (Wessels et al. 2004), wind breaks assessment (Wang et al. 2010), burn severity assessment (Veraverbeke et al. 2011), as well as some very specific applications such as observing floral resource development important for beekeepers (Arundel et al. 2016).

After its appearance in 2014, SENTINEL satellite data (SENTINEL-1, 2014 to date; SENTINEL-2, 2015 to date) has become an excellent complement to the existing time-series data and a promising source of information for future science, practice and policy making. So far, it has been applied in the estimation of crop water requirements (El Hachimi et al. 2022), mapping of glaciers (Yin et al. 2024) and water bodies (Khan et al. 2024), water quality (Mamun et al. 2024), detection of fire burn severity (Suwanprasit and Shah Nawaz 2024), and landslides detection (Fu et al. 2024).

To the best of our knowledge, this is a unique study which will evaluate the combining of continuous time-series (monthly and annual average values) derived from MODIS satellites with tree-ring measurements of different tree species in the region of southeast Europe.

The key objective of this paper is to combine time-series of tree growth data of different species (oaks, beech, pine) with MODIS satellite data (NDVI, EVI, LSTd, LSTn) to understand their temporal interdependence better in the context of tree growth and remote sensing interfaces.

MATERIALS AND METHODS

Site and dendrochronological data

We used four tree-ring width (TRW) chronologies from four species sampled at different sites in Serbia. We examined pedunculate oak (*Quercus robur* L., the Srem region), Turkey oak (*Quercus cerris* L., the Bačka region), European beech (*Fagus sylvatica* L., the Zlatibor mountain) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L., the Zlatibor mountain) (Figure 1).

The examined oak forests are located in lowlands at an elevation of about 80 m, while pine and beech forests are located at about 1100 m. The temperature in the last 30 years was approximately 11 °C in the lowlands and 8 °C in the mountainous area, while precipitation amounted to about 600 mm and 1000 mm, respectively (Figures 2, 3, 4: Walter and Lieth climate diagrams created with R package “berryFunctions”). The oaks are located in the lowlands within the basins of large rivers (the Sava River and the Danube River), while beech and pine grow on mountain slopes.

All TRW chronologies had been published earlier; pedunculate oak (44.98° N, 19.08° E) (Stojanović et al. 2015a), Turkey oak (45.47° N, 19.17° E) (Stojanović et al. 2015b), European beech and Scots pine (43.70° N, 19.62° E) (Pretzsch et al. 2015). General processing procedure included taking cores or cross-sections from 10 to 20 dominant trees per species (tree cores were sampled using Pressler's core borer from breast height



Figure 1 The map of studied sites (created with R packages "OpenStreetMap", "maps", "map.grid" and "GISTools").

at the Srem region and the Zlatibor mountain; tree discs were cut in the Bačka region), the drying of samples, gluing on wooden holder, sanding using sandpaper with different grits in order to get smooth surface, scanning in high-resolution with ATRICS system (Levanič 2007), measuring tree-rings up to 0.01 mm with WinDendro software (regent.qc.ca), visual cross-dating with PAST 5 software (www.sciem.com) and detrending and obtaining chronology residuals with ARSTAN software (Cook et al. 2006).

MODIS time-series

Time-series of NASA MODIS Terra Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Enhanced Vegetation Index (EVI) with a resolution of 250 m 16-Daily values (MOD13Q1), as well as and the Land Surface Temperature Daytime (LSTd) and the Night-time (LSTn) with the resolution of 0.05 degrees (~5 km) 8-Daily values (MOD11C2) were acquired through web-site www.earth-observation-monitor.net (Eberle et al. 2014) (which utilize NASA's data via Google Earth Engine) for the points of interest.

NDVI ranges from -1 to 1, assuming that the values near -1 represent water, while the range from 0 to 1 represents land (near 0 - no vegetation and near 1 the highest density of green vegetation). EVI has a smaller dynamic range than NDVI and it is less prone to saturation (Heute et al. 2002). NDVI and EVI utilize red and near-infrared band, while EVI is additionally strengthened with the blue band and the three coefficients. The Land Surface Temperature values are expressed in kelvins.

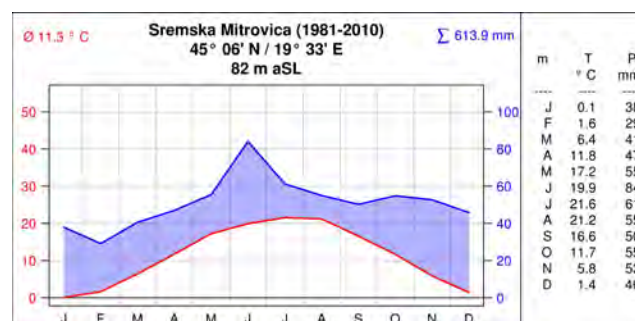


Figure 2 Climate diagram from the reference station near the pedunculate oak stand.

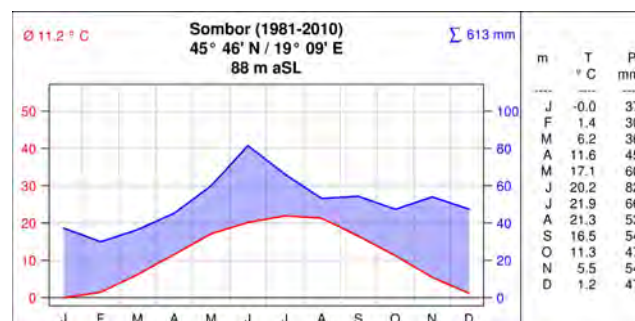


Figure 3 Climate diagram from the reference station near the Turkey oak stand.

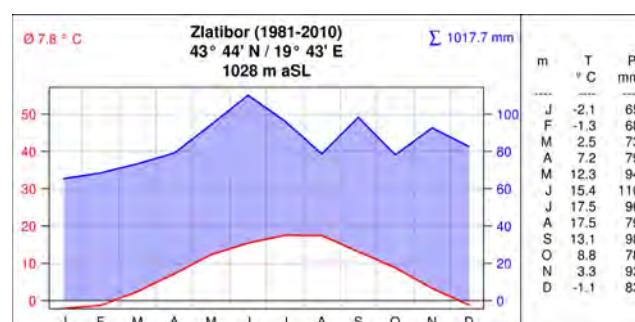


Figure 4 Climate diagram from the reference station near the European beech and Scots pine stand.

Data reshaping and the preparation for analysis were performed with R packages “data.table”, “lubridate”, “plyr” and “reshape” (R. Core Team 2014). Due to the small distance between European beech and Scots pine stands (approx. 50 m) one MODIS time-series was used for both species. The study period was 2000–2013, since 2013 was the last year of available tree-ring data.

Analysis

Simple Pearson's correlations between annual and monthly time series of NDVI, EVI, LSTd and LSTn and tree-ring data (detrended statistical residuals of TRW) for pedunculate oak and Turkey oak, European beech and Scots pine were calculated. Correlation coefficients and significance levels for the calculations of annual values were obtained using built-in R function `cor.test`. For deeper understanding of underlying phenomena, scatter plots with linear regression lines were plotted.

For the calculation of bootstrapped correlation for the monthly values, “bootRes” R Package was used (Zang and Biondi 2013). Mean monthly values from April of the previous year to September of the year of growth were taken.

RESULTS

Time-series of tree-ring with chronologies and MODIS data

Tree-ring chronologies of different species within different stands provide different growing patterns. The overall mild trend of decreasing growth can be noticed. Turkey oak, European beech and Scots pine showed a particular decrease in growth in the period 2011–2013, when there was an extreme drought in Serbia, while there was no decrease in the growth of pedunculate oak (Figure 5A). The highest values of NDVI were in the pedunculate oak stand, the highest EVI in the Turkey oak stand, together with the highest daily temperatures, while the lowest values of vegetation indices and daytime and night-time temperatures were found at the beech/pine site (Figure 5B, C, D).

Taking into account all four tree species and the monthly values of NDVI, EVI, LSTd and LSTn from April of the year prior to growth to the September of the year of growth, it appears that significant correlations for some months within the growing season are present in all of the cases (Figure 6).

The correlation between tree-ring chronologies and monthly NDVI values was positive for summer months. It was significant for Turkey oak in July and August, for pedunculate oak and beech in September and for pine in

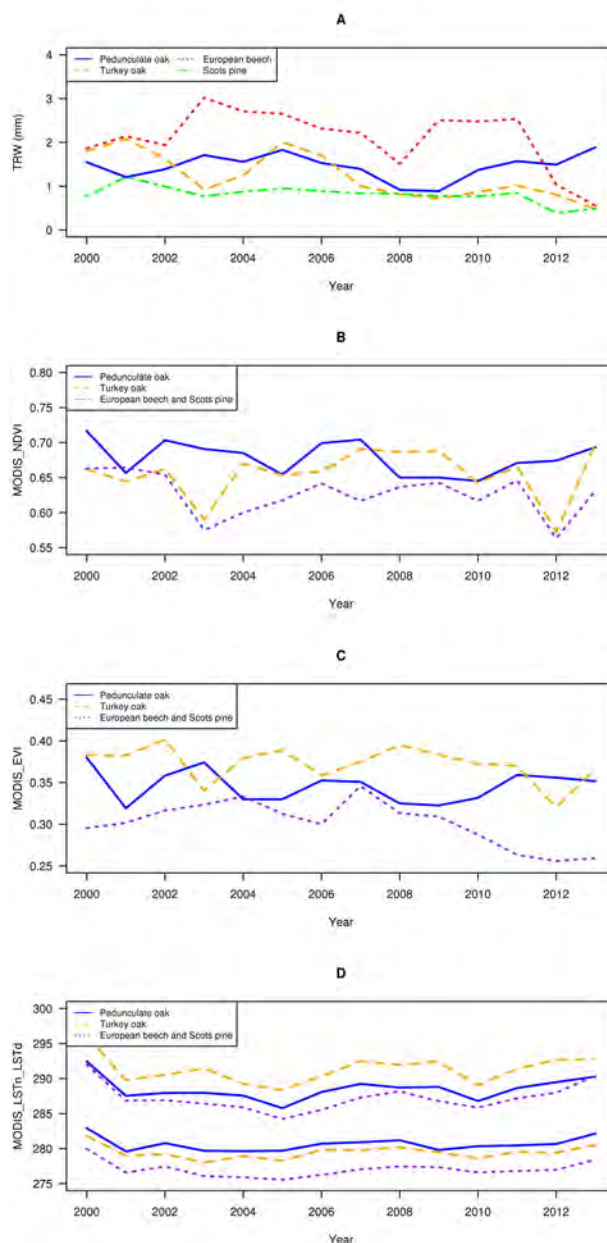


Figure 5 A – Time-series of TRW (pedunculate oak, Turkey oak, European beech and Scots pine); B – NDVI MODIS time-series values; C – EVI MODIS time-series values; D – LSTd and LSTn MODIS time-series values.

August. Statistically significant negative correlation was present in April of the current year and October of the previous year for beech. EVI was significantly correlated with pedunculate oak in May and June, with Turkey oak in August, beech in September and pine in June of the previous year.

Generally, correlations between TRW residuals and NDVI and EVI show certain sinusoid response along seasons. The common pattern for all four species was: previous winter – mostly positive, spring – mostly negative and summer – positive correlations.

Statistically significant negative correlations between mean monthly daytime and night-time LST values and TRW residuals were found for all four tree

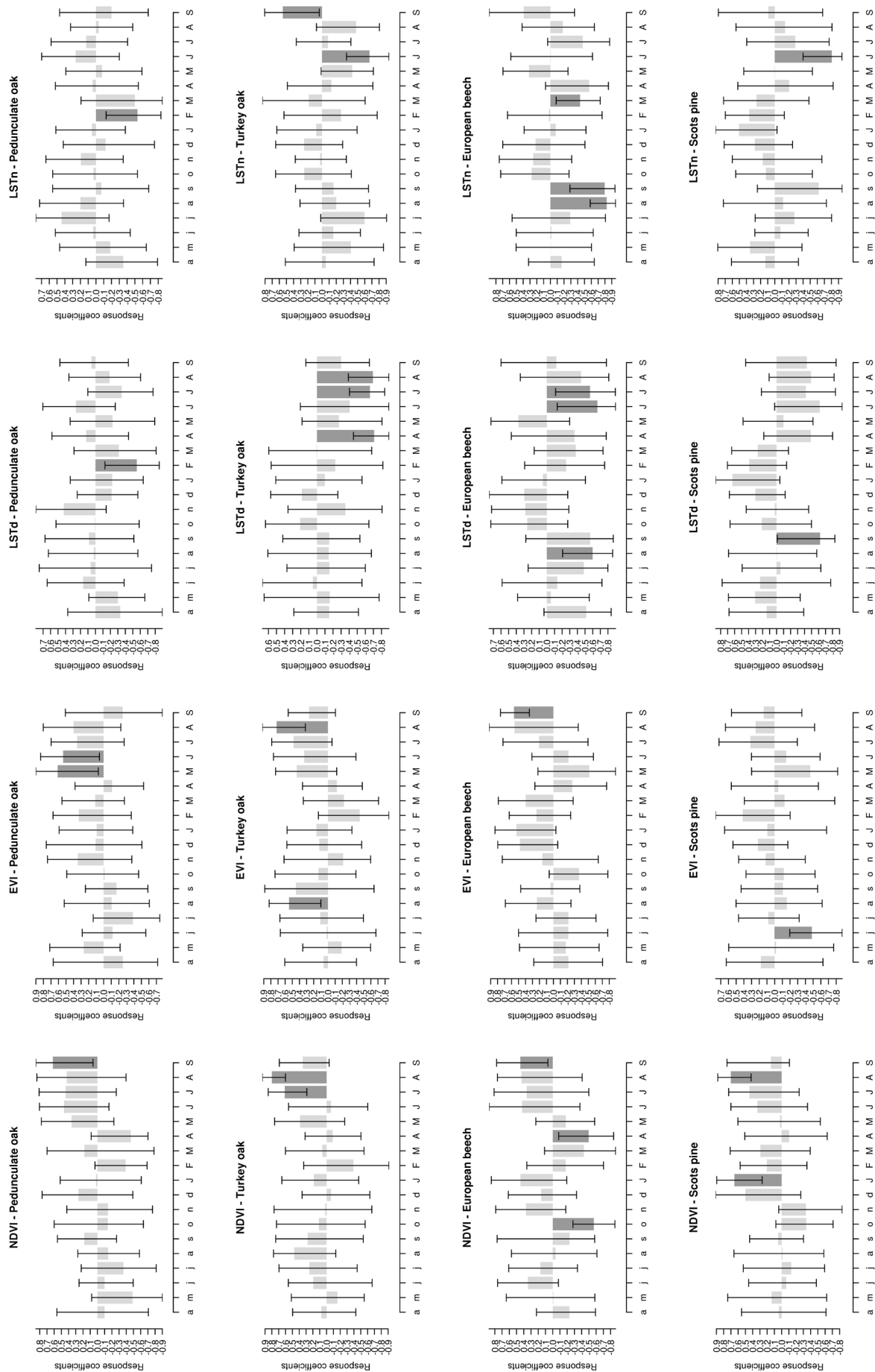


Figure 6 Simple Pearson's correlation between residual (res) chronologies and NDVI, EVI, LSTd and LSTn for the four tree species for the period 2000–2013. Grey is correlation value; dark coloured grey are bootstrapped correlations significant at $p < 0.05$ ($n = 14$); lower and upper lines represent 95% confidence limit. At x-axis small letters represent year prior to growth and capital letters the year of growth. At y-axis correlation coefficients are marked. Correlations take values within interval $[-1, 1]$

species (Figure 6). Higher temperatures during spring and summer months imply lower growth rates. Surface temperature mostly affected the radial growth of Turkey oak and European beech. Besides the LST values in the year of growth, high August and September LSTn values and September LSTd values in the year prior to growth recorded a significant decrease in beech growth. Pine growth was influenced by July temperatures of the current and September temperatures of the previous year.

Correlations between tree-ring widths and mean monthly MODIS time-series

Annual values of NDVI did not statistically correlate

($p < 0.05$) with any of the tree-ring width chronologies. The values of EVI were negatively correlated with Scots pine growth patterns with a coefficient of -0.546 . LSTd was statistically correlated with the growth of Turkey oak, European beech and Scots pine, while LSTn had a high negative correlation with European beech (Table 1). NDVI, EVI, LSTd and LSTn showed certain groupings around linear regression lines for TRWs of four species (Figure 7).

Scots pine showed the most noticeable grouping around the regression lines of all four MODIS indices. It was followed by pedunculate oak, while beech showed the most scattered grouping.

Table 1 Simple Pearson's correlation between annual NDVI, EVI, LSTd and LSTn and four tree species tree-ring width residual chronologies for the period 2000–2013 (bold coefficients had $p < 0.05$).

	NDVI		EVI		LSTd		LSTn	
	Coeff.	p-value	Coeff.	p-value	Coeff.	p-value	Coeff.	p-value
Pedunculate oak	0.176	0.547	0.376	0.185	-0.107	0.715	0.051	0.863
Turkey oak	-0.368	0.196	-0.454	0.103	-0.571	0.033	-0.431	0.124
European beech	-0.226	0.437	-0.145	0.622	-0.538	0.047	-0.674	0.008
Scots pine	-0.396	0.161	-0.546	0.043	-0.569	0.034	-0.507	0.064

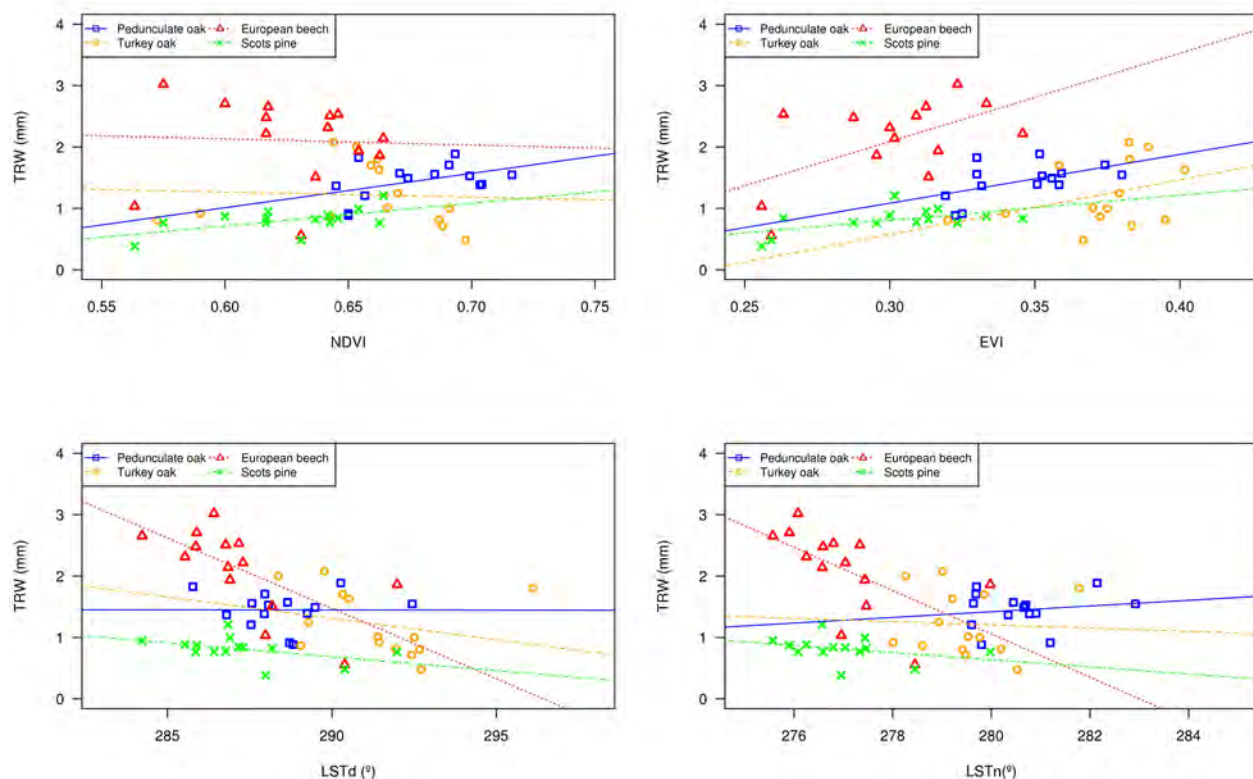


Figure 7 Linear regression between tree-ring widths (pedunculate oak, Turkey oak, European beech and Scots pine) and MODIS derived values (NDVI, EVI, LSTd and LSTn).

DISCUSSION

Combining tree-ring time-series with high temporal and moderate spatial resolution satellite time-series may provide significant insights into phenomena of forest ecology and growth monitoring important for forestry practice. Up to now, MODIS satellites have provided uniform and continual time-series that are long enough to be compared and analysed with tree-ring chronologies. With long-term image sequences of high temporal resolution, the relation between tree growth and remotely observed tree responses can be seen much clearer than ever.

There have been successful examples of combining dendroecology with remote sensing in order to address different questions, such as the recognition of spruce mortality (DeRose et al. 2011), forest growth loss in the Mediterranean caused by insect attack (Sangüesa-Barreda et al. 2014), the definition of specific forest tree provenances in some regions (Alessandrini et al. 2010), as well as the examination of the tree line changes in the sub-arctic region (Mathisen et al. 2014) and the overall impact of droughts to forest ecosystems (Shi et al. 2024).

Statistically significant relations between June–August NDVI (NOAA AVHRR PAL time series from 1982 to 2001) and tree-ring widths of Siberian spruce and Scots pine were established for some parts of the observed region in the Russian Far East (Lopatin et al. 2006). Recently, AVHRR Normalized Difference Vegetation Index data were used under the modeling framework that included larch and Scots pine growth decline in China (Wang et al. 2024).

Some studies were focused on the question regarding the correlation between satellite-derived NDVI and the growth of Scots pine (particularly gross primary production – GPP and the fraction of absorbed photosynthetically active radiation – FAPAR), concluding that a significant correlation existed during the growth period (Julian days 90–270), although not when the mean annual values are considered (Wang et al. 2004).

Tree-ring width measurements were earlier proposed as a proxy for tree productivity within the study relating NDVI (derived from NOAA AVHRR) to site-level ring width index (RWI) (Berner et al. 2011). The study considered the period from 1982 to 2008 and found statistically significant correlations in nine out of 27 chronologies. A study based on similar methods (NDVI from AVHRR) and study area (Siberia) showed statistically significant correlation between Scots pine TRW and July NDVI (Bunn et al. 2013). Both studies used GIMMS NDVI data set that provided 24 composite NDVI images per year at a spatial resolution of 8 km.

Multi-sensor continuity regarding NDVI observations can be achieved to some extent (e.g., extension of the MODIS time-series used in this research with AVHRR data) using appropriate techniques. However, this may introduce a reasonable amount of uncertainty due to incompleteness of the knowledge on atmospheric conditions (Van Leeuwen et al. 2006).

A great advantage of the available MODIS NDVI dataset used in our study lies in the significantly higher spatial resolution of 250 m for NDVI and EVI in comparison to Advanced Very High-Resolution Radiometers (AVHRR). It now allows the monitoring of processes at the level of a forest stand, which assumes uniformity in the parameters such as forest species composition, structure, age, diameter distribution and site characteristics.

The calculations in this study were performed using MODIS LST variable resolution of ~5 km which allowed the establishment of significant correlations with radial growth. Considering the correlations between TRW residuals and mean annual values of MODIS time-series variables, the most straight-forward correlation was between the growth of pine and LSTn (-0.67 , $p=0.008$) (Table 1). Plotting of the annual TRWs and the annual values of NDVI, EVI and LSTs pointed to certain groupings around linear regression lines. Linear fits proved best in explaining radial growth (TRWs in mm) of Scots pine, while European beech had the most scattered cases. The reason why beech had a high deviation from the linear function may be found in its plasticity to environmental conditions (due to the age and species specificities), as well as in the memory effect of the previous year's drought (Yang et al. 2016), meaning that the growth response to drought may be expressed in the year(s) after the event. Moreover, remotely sensed data can be used to assess negative impacts of climate change to various forest types (Stojanović et al. 2021, Miletić et al. 2024). One of the key findings of this research are rather high correlations between LST monthly values and tree growth: LSTd (Turkey oak – April: -0.71 and August: -0.70 ; European beech – June: -0.65) and LSTn (Turkey oak – June: -0.68 ; European beech – previous August: -0.83 ; Scots pine – June: -0.79) (Figure 6). When comparing simple Pearson's correlation coefficient between Turkey oak TRW residuals and temperatures at “Sombor” reference meteorological station for the period 1961–2010 (significant, about -0.4 in April) (Stojanović et al. 2015b), it can be concluded with caution that LSTd and LSTn for the period 2000–2013 provided at least equally good (statistically significant) results. The advantage of temperature data derived from satellite measurements lies in their higher spatial accuracy, since in this case, for instance, the reference meteorological

station was located at more than 20 km from the forest stand and the network of meteorological stations was not dense enough to provide precise interpolation results. If we focus only on temperatures, the spatio-temporal interpolation approach that considers ground measurements and MODIS time-series can be beneficial (Kilibarda et al. 2014).

Intercomparison between different NDVI data sets and Landsat as a reference showed that MODIS-NDVI outperformed four AVHRR-NDVI (GIMMS, PAL, LTDR and FASIR) data sets regarding the level of agreement and performance (Beck et al. 2011). The usage of MODIS LST 1 km resolution product will be a potential improvement of our study. Besides linear methods (simple Pearson's correlation), more robust approaches, such as various machine learning techniques, can be used for evaluating relations and predicting growth from satellite time-series (e.g. artificial neural networks) (Jevšenak and Levanič 2016). Moreover, research by Balenović et al. (2021) in Croatia (Pokupski bazen) shows that forest growing stock can be successfully assessed in terms of cost-effectiveness in comparison to inventory data with diverse remotely sensed photogrammetric data that is usually available. Some more current research which took into account Sentinel 2 time series and calculated vegetation indices found that normalized difference moisture index (NDMI) can be a very important predictor variable of growth (Jevšenak et al. 2024).

CONCLUSIONS

By combining dendrochronological data (tree-ring widths of pedunculate and Turkey oak, European beech and Scots pine) with MODIS time-series, we have found significant correlations between indices (NDVI, EVI, LSTd and LSTn, averaged to monthly and annual values) and radial growth for the period from 2000 to 2013. Specifically:

- All four tree species were significantly influenced by each of the four measured indices for some specific months during the growing season,
- LSTd annual values were significantly related to the growth of three tree species (Turkey oak, beech and pine), and
- EVI and LSTn annual values were significantly related to the growth of single species (pine and beech, respectively).

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was supported by the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia (Contract No. 451-03-66/2024-03/200197), the research is co-funded by the project: "Climate-SMART

Forestry – a Near Real-Time Monitoring of Tree Vitality for Higher Decision Security in Managing and Protecting Riparian Forests (SmartTogether)" (Reg. No. 17278) funded by Science Fund of the Republic Serbia within DIASPORA 2023 programme and "Vojvodinašume" public forest enterprise, as well as with STSM grant from COST Action FP1202 MapFGR for Dr. Dejan B. Stojanović in Ljubljana. We are grateful for support of Public Enterprise "Srbijašume" for data gathering. T.L. was funded by the Research Core Funding project (No. P4-0107) of the Program Research Group at the Slovenian Forestry Institute.

REFERENCES

- Alcantara, C., T. Kuemmerle, M. Baumann, E.V. Bragina, P. Griffiths, P. Hostert, J. Knorn, D. Müller, A.V. Prishchepov, F. Schierhorn, 2013: Mapping the extent of abandoned farmland in Central and Eastern Europe using MODIS time series satellite data. *Environmental Research Letters* 8: 35035. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/035035>
- Alessandrini, A., F. Vessella, A. Di Filippo, A. Salis, L. Santi, B. Schirone, G. Piovesan, 2010: Combined dendroecological and normalized difference vegetation index analysis to detect regions of provenance in forest species. *Scandinavian Journal of Forest Research* 25 (8): 121–125. <https://doi.org/10.1080/02827581.2010.485776>
- Arundel, J., S. Winter, G. Gui, M. Keatley, 2016: A web-based application for beekeepers to visualise patterns of growth in floral resources using MODIS data. *Environmental Modelling & Software* 83: 116–125. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.05.010>
- Autovino, D., M. Minacapilli, G. Provenzano, 2016: Modeling bulk surface resistance by MODIS data and assessment of MOD16A2 evapotranspiration product in an irrigation district of Southern Italy. *Agricultural Water Management* 167: 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.01.006>
- Balenović, I., L. Jurjević, K. Indir, A. Seletković, 2021: Fotogrametrijska procjena volumena u sastojinama hrasta lužnjaka pokupskog bazena. *Šumarski list* 145 (11–12): 567–578. <https://doi.org/10.31298/sl.145.11-12.6>
- Banskota, A., N. Kayastha, J. Falkowski, A. Wulder, E. Froese, J. White, 2014: Forest monitoring using landsat time series data: A review. *Canadian Journal of Remote Sensing* 40 (5): 362–384. <https://doi.org/10.1080/07038992.2014.987376>
- Beck, E., R. McVicar, I. van Dijk, J. Schellekens, A. de Jeu, A. Bruijnzeel, 2011: Global evaluation of four AVHRR-NDVI data sets: Intercomparison and assessment against Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment* 115 (10): 2547–2563. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.05.012>
- Berner, T., P.S. Beck, G. Bunn, H. Lloyd, J. Goetz, 2011: High-latitude tree growth and satellite vegetation indices: Correlations and trends in Russia and Canada (1982–2008). *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 116: 1–13. <https://doi.org/10.1029/2010JG001475>
- Boisvenue, C., P. Smiley, C. White, A. Kurz, M. Wulder, 2016: Integration of Landsat time series and field plots for forest productivity estimates in decision support models. *Forest Ecology and Management* 376: 284–297. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.06.022>
- Bunn, G., K. Hughes, V. Kirdyanov, M. Losleben, V. Shishov, T. Berner, A. Oltchev, A. Vaganov, 2013: Comparing forest measurements from tree rings and a space-based index of vegetation activity in Siberia. *Environmental Research Letters* 8: 35034. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/035034>

- Butler, R., F. Sawyer, 2008: Dendrogeomorphology and high-magnitude snow avalanches: a review and case study. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 8: 303–309. <https://doi.org/10.5194/nhess-8-303-2008>
- Cook, E.R., P.J. Krusic, 2006: ARSTAN_41: A tree-ring standardization program based on detrending and autoregressive time series modeling, with interactive graphics. Tree-Ring Laboratory, Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University, New York, USA.
- DeRose, J., N. Long, D. Ramsey, 2011: Combining dendrochronological data and the disturbance index to assess Engelmann spruce mortality caused by a spruce beetle outbreak in southern Utah, USA. *Remote Sensing of Environment* 115 (9): 2342–2349. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.04.034>
- DeVries, B., A.K. Pratihast, J. Verbesselt, L. Kooistra, M. Herold, 2016: Characterizing forest change using community-based monitoring data and Landsat time series. *PLOS One* 11 (3): e0147121. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147121>
- Eberle, J., C. Hüttich, C. Schmullius, 2014: Providing web-based tools for time series access and analysis. In: EGU General Assembly Conference Abstracts, 16: 11103. EGU GA.1611103E
- El Hachimi, J., A. El Harti, R. Lhissou, J.E. Ouzemou, M. Chakouri, A. Jellouli, 2022: Combination of Sentinel-2 satellite images and meteorological data for crop water requirements estimation in intensive agriculture. *Agriculture* 12 (8): 1168. <https://doi.org/10.3390/agriculture12081168>
- Estel, S., T. Kuemmerle, C. Levers, M. Baumann, P. Hostert, 2016: Mapping cropland-use intensity across Europe using MODIS NDVI time series. *Environmental Research Letters* 11: 24015. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/11/2/024015>
- Friedrich, M., S. Remmele, B. Kromer, J. Hofmann, M. Spurk, K.F. Kaiser, C. Orce, M. Küppers, 2004: The 12,460-year Hohenheim oak and pine tree-ring chronology from central Europe – a unique annual record for radiocarbon calibration and paleoenvironment reconstructions. *Radiocarbon* 46 (3): 1111–1122. <https://doi.org/10.1017/S003382220003304X>
- Fritts, C., 1971: Dendroclimatology and dendroecology. *Quaternary Research* 1 (4): 419–449. [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(71\)90057-3](https://doi.org/10.1016/0033-5894(71)90057-3)
- Fu, S., S. de Jong, X. Hou, J. de Vries, A. Deijns, T. Haas, 2024: A landslide dating framework using a combination of Sentinel-1 SAR and-2 optical imagery. *Engineering Geology* 329: 107388. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2023.107388>
- Haneca, K., K. Čufar, H. Beeckman, 2009: Oaks, tree-rings and wooden cultural heritage: a review of the main characteristics and applications of oak dendrochronology in Europe. *Journal of Archaeological Science* 36: 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2008.07.005>
- Helman, D., A. Givati, M. Lensky, 2015: Annual evapotranspiration retrieved from satellite vegetation indices for the eastern Mediterranean at 250 m spatial resolution. *Atmospheric Chemistry and Physics* 15 (21): 12567–12579. <https://doi.org/10.5194/acp-15-12567-2015>
- Huete, A., K. Didan, T. Miura, P. Rodriguez, X. Gao, G. Ferreira, 2001: Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* 83: 195–213. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)
- Jevšenak, J., T. Levanič, 2016: Should artificial neural networks replace linear models in tree ring based climate reconstructions? *Dendrochronologia* 40: 102–109. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2016.08.002>
- Jevšenak, J., M. Klisz, J. Mašek, V. Čada, P. Janda, M. Svoboda, O. Vostarek, V. Treml, E. van der Maaten, A. Popa, I. Popa, 2024: Incorporating high-resolution climate, remote sensing and topographic data to map annual forest growth in central and eastern Europe. *Science of the Total Environment* 913: 169692. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169692>
- Khan, R.M., B. Salehi, M. Niroumand-Jadidi, M. Mahdianpari, 2024: Mapping water clarity in small oligotrophic lakes using Sentinel-2 imagery and machine learning methods: A case study of Canandaigua Lake in Finger Lakes, New York. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 17: 4674–4688. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2024.3359648>
- Kilibarda, M., T. Hengl, G.B.M. Heuvelink, B. Graler, E. Pebesma, M.P. Tadić, B. Bajat, 2014: Spatio-temporal interpolation of daily temperatures for global land areas at 1 km resolution. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 119: 2294–2313. <https://doi.org/10.1002/2013JD020803>
- Klesse, S., S. Etzold, D. Frank, 2016: Integrating tree-ring and inventory-based measurements of aboveground biomass growth: research opportunities and carbon cycle consequences from a large snow breakage event in the Swiss Alps. *European Journal of Forest Research* 135: 297–311. <https://doi.org/10.1007/s10342-015-0936-5>
- Kostić, S., T. Levanič, S. Orlović, B. Matović, D.B. Stojanović, 2019: Pedunculate and Turkey oaks radial increment and stable carbon isotope response to climate conditions through time. *Topola* 204: 29–35.
- Levanič, T., 2007: ATRICS-A new system for image acquisition in dendrochronology. *Tree-Ring Research* 63 (2): 117–122. <https://doi.org/10.3959/1536-1098-63.2.117>
- Lopatin, E., T. Kolstrom, H. Spiecker, 2006: Determination of forest growth trends in Komi Republic (northwestern Russia): combination of tree-ring analysis and remote sensing data. *Boreal Environment Research* 11 (5): 341–353.
- Mamun, M., M. Hasan, G. An, 2024: Advancing reservoirs water quality parameters estimation using Sentinel-2 and Landsat-8 satellite data with machine learning approaches. *Ecological Informatics* 81: 102608. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102608>
- Masek, J.G., S.N. Goward, R.E. Kennedy, W.B. Cohen, G.G. Moisen, K. Schleeweis, C. Huang, 2013: United States forest disturbance trends observed using Landsat time series. *Ecosystems* 16: 1087–1104. <https://doi.org/10.1007/s10021-013-9669-9>
- Mathisen, I.E., A. Mikheeva, O.V. Tutubalina, S. Aune, A. Hofgaard, 2014: Fifty years of tree line change in the Khibiny Mountains, Russia: advantages of combined remote sensing and dendroecological approaches. *Applied Vegetation Science* 17: 6–16. <https://doi.org/10.1111/avsc.12038>
- Miletić, B.R., B. Matović, S. Orlović, M. Gatalj, T. Đorem, G. Marinković, S. Simović, M. Dugalić, D.B. Stojanović, 2024: Quantifying forest cover loss as a response to drought and dieback of Norway spruce and evaluating sensitivity of various vegetation indices using remote sensing. *Forests* 15 (4): 662. <https://doi.org/10.3390/f15040662>
- Moisen, G., C. Meyer, A. Schroeder, X. Liao, G. Schleeweis, A. Freeman, C. Toney, 2016: Shape selection in Landsat time series: A tool for monitoring forest dynamics. *Global Change Biology* 22 (10): 3518–3528. <https://doi.org/10.1111/gcb.13358>
- Morin-Bernard, A., A. Achim, C. Coops, C. White, 2024: Integration of tree-ring data, Landsat time series, and ALS-derived topographic variables to quantify growth declines in black spruce. *Forest Ecology and Management* 557: 121765. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.121765>

- Morton-Bermea, O., L. Beramendi-Orosco, Á. Martínez-Reyes, E. Hernández-Álvarez, G. González-Hernández, 2016: Increase in platinum group elements in Mexico City as revealed from growth rings of *Taxodium mucronatum* ten. Environmental Geochemistry and Health 38: 195–202. <https://doi.org/10.1007/s10653-015-9703-2>
- Nagel, T.A., S. Mikac, M. Dolinar, M. Klopčič, S. Keren, M. Svoboda, V. Paulić, 2016: The natural disturbance regime in forests of the Dinaric Mountains: A synthesis of evidence. Forest Ecology and Management 388: 29–42. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.07.047>
- Olofsson, P., E. Holden, L. Bullock, E. Woodcock, 2016: Time series analysis of satellite data reveals continuous deforestation of New England since the 1980s. Environmental Research Letters 11 (6): 64002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/6/064002>
- Pretzsch, H., M. Del Río, C. Ammer, A. Avdagic, I. Barbeito, K. Bielak, M. Fabrika, 2015: Growth and yield of mixed versus pure stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) analysed along a productivity gradient through Europe. European Journal of Forest Research 134: 927–947. <https://doi.org/10.1007/s10342-015-0900-4>
- R. Core Team, 2014: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org>.
- Sangüesa-Barreda, G., J.J. Camarero, A. García-Martín, R. Hernández, J. de la Riva, 2014: Remote-sensing and tree-ring based characterization of forest defoliation and growth loss due to the Mediterranean pine processionary moth. Forest Ecology and Management 320: 171–181. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.03.008>
- Shi, H., X. Peng, J. Zhou, Y. Wang, K. Sun, N. Li, S. Bao, G. Buri, Y. Hao, 2024: Resilience and response: Unveiling the impacts of extreme droughts on forests through integrated dendrochronological and remote sensing analyses. Forest Ecosystems 11: 100209. <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2024.100209>
- Speer, J.H., 2010: Fundamentals of tree-ring research. University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- Stojanović, D.B., T. Levanič, B. Matović, S. Orlović, 2015a: Growth decrease and mortality of oak floodplain forests as a response to change of water regime and climate. European Journal of Forest Research 134: 555–567. <https://doi.org/10.1007/s10342-015-0871-5>
- Stojanović, D., T. Levanič, B. Matović, A. Bravo-Oviedo, 2015b: Climate change impact on a mixed lowland oak stand in Serbia. Annals of Silvicultural Research 39: 94–99. <http://doi.org/10.12899/ASR-1126>
- Stojanović, D.B., S. Orlović, M. Zlatković, S. Kostić, V. Vasić, B. Miletić, L. Kesić, B. Matović, D. Božanić, L. Pavlović, M. Milović, 2021: Climate change within Serbian forests: current state and future perspectives. Topola 208: 39–56.
- Stjepanović, S., B. Matović, D. Stojanović, B. Lalić, T. Levanič, S. Orlović, M. Gutar, 2018: The impact of adverse weather and climate on the width of European beech (*Fagus sylvatica* L.) tree rings in Southeastern Europe. Atmosphere 9 (11): 451. <https://doi.org/10.3390/atmos9110451>
- Suwanprasit, C., Shahnawaz, 2024: Mapping burned areas in Thailand using Sentinel-2 imagery and OBIA techniques. Scientific Reports 14 (1): 9609. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-60512-w>
- Topham, J., D. McCormick, 2000: FOCUS: a dendrochronological investigation of stringed instruments of the Cremonese School (1666–1757) including “The Messiah” violin attributed to Antonio Stradivari. Journal of Archaeological Science 27: 183–192. <https://doi.org/10.1006/jasc.1999.0516>
- Van Leeuwen, J., J. Orr, E. Marsh, M. Herrmann, 2006: Multi-sensor NDVI data continuity: Uncertainties and implications for vegetation monitoring applications. Remote Sensing of Environment 100: 67–81. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.10.002>
- Veraverbeke, S., S. Lhermitte, W. Verstraeten, R. Goossens, 2011: A time-integrated MODIS burn severity assessment using the multi-temporal differenced Normalized Burn Ratio (dNBRMT). International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 13: 52–58. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2010.06.006>
- Vitali, V., P. Brang, P. Cherubini, A. Zingg, P. Nikolova, 2016: Radial growth changes in Norway spruce montane and subalpine forests after strip cutting in the Swiss Alps. Forest Ecology and Management 364: 145–153. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.01.015>
- Wang, B., Z. Wang, D. Zhang, L. Li, Y. Zhao, T. Luo, X. Wang, 2024: Spatial and temporal variation in primary forest growth in the Northern Daxing'an Mountains based on tree-ring and NDVI Data. Forests 15 (2): 317. <https://doi.org/10.3390/f15020317>
- Wang, Q., J. Tenhunen, N.Q. Dinh, M. Reichstein, T. Vesala, P. Keronen, 2004: Similarities in ground- and satellite-based NDVI time series and their relationship to physiological activity of a Scots pine forest in Finland. Remote Sensing of Environment 93 (1–2): 225–237. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.07.006>
- Wang, W., J. Qu, X. Hao, Y. Liu, A. Stanturf, 2010: Post-hurricane forest damage assessment using satellite remote sensing. Agricultural and Forest Meteorology 150: 122–132. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.09.009>
- Wessels, J., S. De Fries, J. Dempewolf, O. Anderson, J. Hansen, L. Powell, F. Moran, 2004: Mapping regional land cover with MODIS data for biological conservation: Examples from the Greater Yellowstone Ecosystem, USA and Pará State, Brazil. Remote Sensing of Environment 92: 67–83. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.05.002>
- Woodcock, C.E., R. Allen, M. Anderson, A. Belward, R. Bindsc-hadler, W. Cohen, R. Nemani, 2008: Free access to Landsat imagery. Science 320 (5879): 1011–1012. <https://doi.org/10.1126/science.320.5879.1011a>
- Wu, Z., M. Velasco, J. McVay, B. Middleton, J. Vogel, D. Dye, 2016: MODIS derived vegetation index for drought detection on the San Carlos Apache Reservation. International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS 5 (2): 1524–1538. <https://doi.org/10.23953/cloud.ijarsg.44>
- Yang, Y., M.C. Anderson, F. Gao, C.R. Hain, K.A. Semmens, W.P. Kustas, A. Noormets, R.H. Wynne, V.A. Thomas, G. Sun, 2016: Daily Landsat-scale evapotranspiration estimation over a forested landscape in North Carolina, USA using multi-satellite data fusion. Hydrology and Earth System Sciences 21 (2): 1017–1037. <https://doi.org/10.5194/hess-21-1017-2017>
- Yang, Y., H. Guan, O. Batelaan, T.R. McVicar, D. Long, S. Piao, T. Simmons, 2016: Contrasting responses of water use efficiency to drought across global terrestrial ecosystems. Scientific Reports 6: 23284. <https://doi.org/10.1038/srep23284>
- Yin, L., X. Wang, W. Du, C. Yang, J. Wei, Q. Wang, D. Lei, J. Xiao, 2024: Using the improved YOLOv5-Seg network and Sentinel-2 imagery to map glacial lakes in High Mountain Asia. Remote Sensing 16 (12): 2057. <https://doi.org/10.3390/rs16122057>
- Zang, C., F. Biondi, 2013: Dendroclimatic calibration in R: the bootRes package for response and correlation function analysis. Dendrochronologia 31: 68–74. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2012.08.001>

PROGRAMI ŠUMSKE PEDAGOGIJE U HRVATSKOJ – PRISTUP EVALUACIJI I NALAZI

THE FOREST PEDAGOGY PROGRAMS IN CROATIA – EVALUATION APPROACH AND FINDINGS

Ivan MARTINIĆ^{1*}, Anđela ANTIČEVIĆ², Lara ZGRABLIĆ³

SAŽETAK

Šumska pedagogija, kao obrazovni koncept koji koristi šumu kao prirodnu učionicu sve je više prepoznata u Hrvatskoj. Osnivanje Centra za šumsku pedagogiju Silva.Rei 2022. godine značajan je korak u razvoju šumske pedagogije i pripadajućeg edukacijskog pristupa u Hrvatskoj. Cilj ovog rada je predstaviti nalaze vrednovanja dvaju programa šumske pedagogije koje je proveo Centar u okviru projekta „Znanje iz šume za šumu.”

Evaluacija je obuhvatila dvije terenske radionice za učenike osnovnih škola te seminar šumske pedagogije za pedagoške djelatnike. Ocjenjivana je razina zadovoljstva sudionika elementima radionica, relevantnost i primjenjivost ponuđenog sadržaja u pedagoškoj praksi, opseg novousvojenih sadržaja te ocjena učenika o najzanimljivijim elementima radionica. Rezultati evaluacije ukazuju na visoku motiviranost i angažiranost sudionika u programima šumske pedagogije, na zamjetne socijalne i ekološke dobrobiti koje šumska pedagogija unosi u odgoj i obrazovanje te na preporuke za poboljšanje programa u budućnosti.

KLJUČNE RIJEČI: šumsko obrazovanje, Centar Silva.Rei, održivi razvoj, odgoj u prirodi

UVOD

INTRODUCTION

Šumskom pedagogijom smatra se obrazovno-komunikacijski koncept, koji kao dio aktivnog odgoja i učenja u prirodi svoje temelje pronalazi u osjetilnom sagledavanju prirode općenito, a posebice u doživljajnom upoznavanju života šume i iskustvenom učenju u šumi (SILVIVA 2020). Šuma je, kao jedinstven prostor bogatstva i raznolikosti elemenata, odlično okruženje za učenje na otvorenom i mogućnost učenja radeći vlastitim rukama. Prema Györek (2013) upravo je istinska zabrinutost za šume i želja za njihovim očuvanjem pred izazovima ugrožavanja i propadanja dovela do sve šireg prihvaćanja koncepta šumske pedagogije, kao i sve većeg uključivanja istog u odgojno-obrazovni rad, posebice zadnja dva desetljeća.

Šumska pedagogija je obrazovni pristup koji koristi šumu kao prirodnu učionicu, pri čemu se učenje odvija kroz izravno iskustvo i interakciju s prirodnim okruženjem. Cilj je potaknuti ekološku svijest, razvoj socijalnih i motoričkih vještina, kao i promicanje emocionalne povezanosti s prirodom. Kroz aktivnosti poput istraživanja ekosustava, kreativnog izražavanja i fizičkih aktivnosti, šumska pedagogija integrira različite obrazovne discipline i potiče razvoj djece (Györek 2013).

Šire gledano, šumska pedagogija nije samo obrazovni alat, već i filozofija koja promiče duboku povezanost između čovjeka i prirode. U svijetu koji se sve više suočava s ekološkim krizama, klimatskim promjenama i gubitkom bioraznolikosti, šumska pedagogija ima važnu ulogu u formiranju ekološki osviještenih građana. To je zbog toga jer se šumska pedagogija temelji na ideji da

¹ Prof. dr. sc. Ivan Martinić, Sveučilište u Zagrebu Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Zagreb

² Anđela Antičević, univ. bacc. praesc. educ., univ. bacc. ing. silv., Poreč

³ Lara Zgrablić, univ. bacc. praesc. educ., Sveti Lovreč

* dopisni autor: Ivan Martinić, email: imartinic@sumfak.unizg.hr

učenje u prirodi i s prirodom - pristup „kako osjetiti i promatrati prirodu” - može značajno doprinijeti stvaranju održivog društva. Pritom podupire i promiče vrijednosti i ponašanja potrebna za razvijanje ekološke zrelosti, pri čemu razumijevanjem povezanosti u međuodnosu čovjeka i prirode sudionici programa (npr. djeca) dobivaju mogućnost odlučivati o pitanjima koja se tiču okoliša, kao i odgovornosti te angažiranosti u pogledu održive budućnosti.

Kroz izravno stjecanje iskustava o ekološkim procesima, načelima i odnosima u šumskim ekosustavima, šumska pedagogija nastoji potaknuti razumijevanje interakcije ljudi i prirode u svim dobnim skupinama, s posebnim naglaskom na razborito zaključivanje o optimalnim pristupima u gospodarenju šumama i šumskim resursima. Ovaj pedagoški koncept posebno promovira šumsko obrazovanje kao ključni alat za prevladavanje hendikepa odsutnosti prirode, posebno kod urbanih dječjih populacija. Doživljajno učenje koje se temelji na senzibilizaciji osjetila, angažiranju, akciji i avanturi, te poticanju neposrednog iskustva i preuzimanja odgovornosti, omogućuje pojedincima postizanje ekološke zrelosti. Šumska pedagogija doprinosi unapređenju kognitivnih i kreativnih kompetencija, potičući entuzijazam za nova znanja, želju za istraživanjem, razvoj kreativnosti, empatiju prema šumama te razborito rasuđivanje, mudrost i osjećaj za pravdu.

Šuma je temeljni prostorno-ambijentalni okvir šumske pedagogije. Učenje u prirodi, posebice u šumskom okruženju, pruža djeci priliku da istraže svijet oko sebe na način koji nije moguće postići unutar zidova klasične učionice (Švec 2023). Jednako tako šuma kao okruženje pruža idealan prostor za zdrav razvoj djece, a boravak u šumi potiče tjelesnu aktivnost, slobodno kretanje na svježem zraku, jačanje imunološkog sustava, te razvoj motoričkih vještina. Osim fizičkog zdravlja, šumska pedagogija pridonosi i mentalnom i socijalnom zdravlju. U šumi, djeca imaju priliku razvijati koncentraciju, strpljenje, socijalno ponašanje u grupi i dr. (Davies 1997).

U svijetu koji je sve više digitaliziran i gdje djeca provode sve više vremena ispred ekrana, šumska pedagogija nudi prijeko potrebnu ravnotežu, vraćajući djecu prirodi i omogućujući im da razviju zdrav odnos prema svom okruženju. Šumska pedagogija pomaže u smanjenju sve veće udaljenosti između djece i prirode, što je postalo izraženije uslijed urbanizacije i suvremenog načina života (Petrović 2022). Ovaj obrazovni koncept nadilazi klasične granice učenja, integrirajući znanje, iskustvo i emocionalni razvoj. Tako se stvaraju pojedinci koji mogu razumjeti kompleksne ekološke izazove i aktivno sudjelovati u njihovom rješavanju (Barišić 2018). Prema istom autoru kroz ovaj pristup postavlja se temelj za

budućnost, u kojoj će ljubav prema prirodi i odgovornost prema okolišu voditi naše aktivnosti i odluke.

Šumskom pedagogijom se, više nego drugim konceptima, oblikuju poruke s izravnim utjecajem na ekološku svijest i ponašanje sudionika programa. Šuma, sa svojim bogatstvom elemenata i cikličkim promjenama tijekom godišnjih doba, nudi beskonačne mogućnosti za učenje kroz igru, istraživanje i kreativno izražavanje.

I u Hrvatskoj se pomalo prepoznaju potencijali šumske pedagogije, posebice mogućeg doprinosa u obrazovanju za zeleni razvoj i održivu budućnost. Iako nedovoljno poznata, ideja šumske pedagogije počinje sve snažnije rasti u Hrvatskoj. Važan korak u razvoju ovoga koncepta u Hrvatskoj vezan je uz osnivanje Centra za šumsku pedagogiju Silva.Rei Zagreb u lipnju 2022. godine. Od tada je do danas u organizaciji Centra provedeno više od 20 terenskih radionica šumske pedagogije, u kojima je sudjelovalo preko 300 sudionika – učenika i nastavnika, održan je nacionalni seminar šumske pedagogije (Antičević i Zgrablić 2024) te provedeno tematsko osposobljavanje za aktivnosti šumske pedagogiju u tri županijske ustanove za upravljanje zaštićenim prirodnim vrijednostima.

Status šumske pedagogije – *State of the Forest pedagogy*

Šumska pedagogija je kao popularni edukacijski koncept već više od trideset godina uspješno integriran u obrazovne sustave mnogih europskih zemalja. Postala je također vidljiv element obrazovne sastavnice EU Zelenog plana i važan alat provedbe ciljeva šumarske politike. U zemljama najviših dosega šumske pedagogije (Njemačka, Austrija, Slovačka, Češka, Slovenija, Italija, Portugal i dr.) ona je usko povezana i podržana od ministarstava u čijoj je nadležnosti šumarstvo, pri čemu ministarstva verificiraju programe osposobljavanja i reguliraju status šumskih pedagoga (Jurjević Varga i Murgić Lepoglavec 2024).

Povijesno gledano, u Hrvatskoj se prva ozbiljna inicijativa u ovom području može se povezati s radom Franje Higy-Mandića koji je 1929. godine u Zagrebu osnovao prvu šumsku školu na Tuškancu uz podršku tadašnjeg Ministarstva prosvjete. Škola je bila usmjerena na obrazovanje djece u prirodnom okruženju, s posebnim naglaskom na prevenciju bolesti, poput tuberkuloze koja je bila velika prijetnja u to vrijeme i promicanje zdravlja. Djeca su ondje učila čitanje i pisanje oblikovanjem slova od gline ili korištenjem prirodnih elemenata poput žirova i češera za matematiku (Higy-Mandić 1934).

Unatoč inovativnom pristupu i pozitivnim rezultatima, škola u Tuškancu nije imala dugotrajan utjecaj na hrvatski obrazovni sustav te je prestala s radom 1941.

godine. Nakon toga, slični pristupi obrazovanju nisu se sustavno primjenjivali u Hrvatskoj. Tek se u novije vrijeme počinje ponovno razmatrati važnost ovakvog obrazovnog modela, a rad Franje Higy-Mandića ostaje zabilježen kao važan doprinos u pedagoškoj literaturi (Matijević 2001). Matijević smatra Higy-Mandića jednim od najboljih poznavatelja pokreta za odgoj u prirodi u ovome dijelu Europe, koji je zagovarao ideju o nastavi i školi u prirodi. Sam Higy-Mandić pohađao je škole u prirodi u Švicarskoj, Njemačkoj i Americi te je u njima i radio, stoga je i prepoznao njihov uspjeh i nužnost za otvaranjem svoje vlastite škole. Praksu svoje škole i odgoj i obrazovanje na otvorenim prostorima u svijetu općenito, opisao je u knjizi „Uzgojni domovi i nastava u prirodi” (Higy-Mandić 1934).

U mnogim europskim zemljama ovaj je koncept postao ključan dio obrazovnog sustava. Primjerice, u Skandinaviji, gdje je friluftsliv – (open-air-life) pojam koji označava život na otvorenom duboko ukorijenjen u kulturi naroda, šumska pedagogija nije samo obrazovna metoda, već i način života. Danska je jedan od vodećih primjera, gdje se obrazovanje na otvorenom, iako nije zakonski obavezno, sve više integrira u školske kurikule uz podršku političkih i administrativnih struktura (Williams-Sieghfredsen 2017).

Njemačku se s pravom drži pionirom u području šumske pedagogije. Njemački šumski vrtići, kojih danas ima više od 1.500, pružaju djeci mogućnost da veći dio dana provode na otvorenom, učeći kroz igru i istraživanje prirodnog okruženja. Ovaj model obrazovanja, koji se temelji na ideji da priroda nudi nebrojene mogućnosti za učenje, također je prepoznat kao važan alat za razvoj emocionalne i socijalne inteligencije kod djece (Forest School Foundation 2020).

U Velikoj Britaniji, koncept šumske škole (Forest School) uvezen je iz Skandinavije 1995. godine, nakon što su britanski odgojitelji posjetili danske šumske vrtiće. U Ujedinjenom Kraljevstvu, šumske škole brzo su postale popularne, ne samo u vrtićima, već i u osnovnim školama, kao odgovor na rastuće zabrinutosti oko nedostatka boravka djece na otvorenom i sve većeg vremena provedenog uz tehnologiju (Bentsen i sur. 2013). Britanski koncept šumskih škola počeo se razvijati u standardizirani pristup; za razliku od skandinavskih zemalja, Velika Britanija razvila je visoko strukturirani, regulirani koncept šumske škole.

Programi šumske pedagogije u Hrvatskoj – *Forest Pedagogy Programs in Croatia*

Iako je Hrvatska u samim počecima prihvaćanja oblika odgojno-obrazovnog rada na otvorenom, ohrabruje da su roditelji sve otvoreniji i znatijeljniji uključiti svoju

djecu u takve oblike nastave te da ju smatraju korisnom za djetetov razvoj (Zeljak 2021). Uz pozitivan stav roditelja, Panić (2017) navodi da su i djelatnici odgojno-obrazovnih ustanova uglavnom spremni na implementaciju ovog pristupa. Tako se elementi šumske pedagogije često ugrađuju u izvanučioničke aktivnosti unutar redovnih programa, a također postoje uspješni primjeri suradnje između škola i drugih organizacija, kao što je projekt Zelena učionica koji se provodi u Osnovnoj školi Stjepana Radića u suradnji s Hrvatskim šumama. Ovaj projekt, koji se provodi u prirodnom okruženju, ima za cilj razvoj ekološke svijesti i promicanje zdravog načina života među učenicima (Zelena učionica, n.d.).

Potrebu za provođenjem edukacija na otvorenom među prvim ponovo prepoznaju i provode u Nacionalnom parku Risnjak, pri čemu program šumske pedagogije imaju u kontinuiranoj ponudi za posjetitelje. Pritom kao cilj šumske pedagogije u NP Risnjak navode: „iskustvenim pristupom probuditi zanimanje i veselje prema šumi, prenijeti sudionicima informacije o vrijednostima šume i prikazati ulogu šumara te sudionike ohrabriti za promjenu ponašanja i razvijanje naklonosti prema šumi” (citirano iz programa ŠP NP Risnjak 2020). Program se temelji na iskustvu doživljaja i razvoja emocija vezano uz šumu, pri čemu se potiče razvoj osobnosti te budi volju za istraživanjem nepoznatog. Namijenjen je različitim skupinama, uključujući djecu, tinejdžere i odrasle, i obuhvaća razne aktivnosti poput šetnji, igara i istraživačkih radionica.

Osnivanje Centra za šumsku pedagogiju u Hrvatskoj – *Establishment of the Center for Forest Pedagogy in Croatia*

Osnivanje i rad Centra za šumsku pedagogiju Silva.Rei Zagreb predstavlja značajan element u razvoju koncepta šumske pedagogije i njemu pripadajućeg edukacijskog pristupa u Hrvatskoj. Centar je osnovan kao udruga stručnjaka s ciljem poticanja, promicanja i unapređenja šumske pedagogije kao autentičnog aspekta odgoja i obrazovanja, temeljenog na kvalificiranom šumarskom strukovnom znanju i najboljoj praksi te kao važan komunikacijski alat šumarske struke u obrazovanju za održivi razvoj, očuvanje prirode i promicanje zdravih životnih navika. Centar trenutno okuplja 17 visokoobrazovanih stručnjaka koji djeluju kao šumski pedagozi i edukatori internog statusa. Takav status stječe se prema kriterijima Centra za šumsku pedagogiju, nakon provedenog stručnog osposobljavanja koje uključuje 30 sati teorijskog i praktičnog programa te ispita – sve u organizaciji Centra. Djelatnosti Centra usmjerene su na razvoj i implementaciju programa koji će omogućiti djeci i mladima da kroz neposredan kontakt s prirodom razvijaju ekološku svijest i osobnu odgovornost prema okolišu (Martinić, 2021).



Slika 1. Dogovor sudionika pred početak terenske radionice šumske pedagogije u Prekvršju
Figure 1 Consultations of the participants before the beginning of a FP field workshop in Prekvršje

Šumarski stručnjaci okupljeni u Centru zalažu se za širenje pozitivnog stava i percepcije o važnosti učenja na otvorenom za zdrav tjelesni i psihički razvoj djece. Poseban element djelatnosti Centra je zalaganje za primjenu međunarodnih standarda šumske pedagogije u Hrvatskoj te uspostava sustava osposobljavanja i certificiranja stručnjaka u ovom području u Hrvatskoj (Silva, Rei 2020).

Kroz šumsku pedagogiju šumska struka se angažira i pridobiva mlade, koji su budući donositelji odluka i nasljednici brige o šumama. Ovaj koncept podiže svijest, educira i informira javnost o ulozi šuma i šumarskog gospodarstva, potičući povećanje znanja, stvaranje pozitivnog stava i percepcije prema šumama i šumarskom sektoru. Istovremeno, promiče razumijevanje i primjenu koncepta održivog razvoja kroz primjer održivog gospodarenja šumama, postavljajući šumarske stručnjake u ulogu autentičnih tumača slike života i funkcioniranja šumskih ekosustava. Šumska pedagogija također služi kao platforma za šumarske uprave u približavanju ciljeva svog djelovanja javnosti, omogućujući vlasnicima šuma, šumarskim upravama i tvrtkama te obrazovnim i znanstvenim institucijama da kroz zajedničke aktivnosti komuniciraju o gospodarenju šumama.

Evaluacija programa šumske pedagogije - Forest Pedagogy Program Evaluation

Primjeri evaluacije prikazani u ovome radu odnose se na dvije odvojene aktivnosti u projektu „Znanje iz šume za šumu”, koje je Centar za šumsku pedagogiju proveo u svibnju 2024. godine.

Prvo su evaluirane dvije šumske radionice za učenike Osnovne škole Vugrovec-Kašina koje su održane 15. svibnja 2024. godine (Slika 1). U radionicama je sudjelovalo ukupno 37 djece i 5 njihovih učiteljica iz područnih škola Prekvršje i Planina Donja. Radionice su vodili šumski pedagozi Centra, na šumskim lokalitetima u blizini spomenutih škola. Radionice su imale za cilj upoznati učenike sa značajem i ulogom šumskih ekosustava u globalnom okolišu, raznolikošću strukture i elemenata šume, pravilima ponašanja u prirodi i šumi („šumski bonton”) te važnosti zaštite i aktivnog sudjelovanja u očuvanju šuma.

Terenske radionice šumske pedagogije bile su sastavljene od sljedećih aktivnosti: (i) osluškivanje i prepoznavanje zvukova šume i okolice zatvorenih očiju pri čemu se, u kasnijem razgovoru, učenike poticalo na razumijevanje međuovisnosti bioloških elemenata šume i utjecaja ljudskih aktivnosti na šumu; (ii) prepoznavanje šumskih životinja na tematskim kartama i igra šumskih detektiva (Slika 2 – lijevo) pri čemu se igrom u parovima (detektiv i njegov asistent) istraživalo tragove prisutnosti



Slika 2. Aktivnosti šumske pedagogije za učenike škole u Prekvršju: lijevo – uloga „šumskih detektiva“; desno – izložba izrađenih likovnih kompozicija „land-art“

Figure 2 Forest pedagogy activities for Prekvršje school students: left – in the role of “forest detective”; right – exhibition of “land art” works

životinja u šumi – sve s ciljem osvježavanja brojnosti i raznolikosti živog svijeta šume; (iii) igra „šumski bonton“ u kojoj se s pomoću tematskog mini-postera tumačilo pravila obzirnog ponašanja u šumi te upoznalo učenike s odgovornostima za prirodu i okoliš i načinima njihovog uključivanja u očuvanje; (iv) aktivnost „igra povjerenja“ ili „ovo je moje stablo“ u kojoj jedan od učenika u paru ima zavezane oči, a drugi je vodič „slijepca“ i tako pronalaze stablo koje će „slijepac“ detaljno opipati i pokušati upamtiti sve više specifičnosti stabala kako bi ga, kad mu se skine povez s očiju i vrati ga se na početni poziciju, mogao prepoznati; (v) završna aktivnost „land-art čestitka“ bila je izrada male likovne kompozicije iz šumskih materijala sakupljenih u najbližoj okolini koju je svaki učenik izrađivao individualno i svi radovi bili su potom predstavljeni kao mala šumska izložba (Slika 2 – desno).

Po povratku u školu, učenicima – sudionicima radionice podijeljeni su evaluacijski upitnici koje su anonimno ispunili.

Druga evaluacija odnosila se na 1. seminar šumske pedagogije održan 29. svibnja 2024. godine na Fakultetu šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu. Seminar je okupio 30 pedagoških djelatnika iz zagrebačkih osnovnih škola i dječjih vrtića te studente Učiteljskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu. Cilj

seminara bio je stjecanje teorijskih znanja i praktičnih vještina potrebnih za pripremu i provođenje programa šumske pedagogije u njihovim institucijama. Seminar je, među ostalim, imao svrhu poticanja međusobnog druženja i razmjenu iskustava sudionika o izvanučioničkim aktivnostima koje provode u svom radu.

Seminar su vodili šumski pedagozi Centra Silva.Rei, koji su uvodno upoznali sudionike s osnovnim pojmovima i metodologijom šumske pedagogije, dosežima u susjednim državama i o mogućnostima primjene šumske pedagogije u nastavnom planu i programu. Također su prikazani postojeći programi šumske pedagogije u izvođenju Centra, ali i programi iz NP Risnjak i Parka prirode Medvednica. Kao rezultat ambicije Centra za širenjem kruga osposobljenih za praktično djelovanje u području šumske pedagogije, predstavljen je metodički priručnik šumske pedagogije s katalogom kratkih programa s uputama za provedbu. U priručniku su sadržane didaktičke i metodičke upute te primjeri aktivnosti za izvođenje elemenata šumske pedagogije u radu s djecom, neovisno o njihovoj dobi.

U praktičnom dijelu seminara sudionici su sudjelovali u demonstraciji programa šumske pedagogije u šumi Maksimir – istodobno kao promatrači, ali i kao sami sudionici u programu. Podijeljeni u dvije skupine sudionici su preuzeli različito angažiranje i uloge u igrama povjerenja, „slijepoj“ šetnji uz uže, prebrojavanju zvu-



Slika 3. Detalji s terenskih aktivnosti za sudionike seminara u šumi Maksimir; lijevo – aktivnost „ispit za vuka”; desno – aktivnost „slijepa šetnja”
Figure 3 Details from the outdoor activities for conference participants in Maksimir Forest; left – “Test for the Wolf”; right – “Blind Walk.”

kova, traženju tragova prisustva životinja, ispitu za vuka, izradi „land arta” i dr. (Slika 3). Cilj praktičnog dijela seminara bio je prikazati planiranje i izvođenje aktivnosti šumske pedagogije te demonstrirati priprema materijala i rekvizita za programe.

METODE METHODS

Evaluacija je važan element svakog programa jer uključuje provjeravanje njegove relevantnosti, izvedivosti i održivosti – sve s ciljem unapređenja programskog ciklusa. Evaluacija se može odnositi i na procjenu kvalitete pojedinih aspekata radionice uz otvorena pitanja o zadovoljstvu sudionika i korisnosti radionice za sudionike. Vrlo je raširen i praktičan način vrednovanja na kraju radionice sudionicima podijeliti evaluacijski upitnik. Obično je upitnik strukturiran tako da obuhvaća sljedeće elemente:

- ocjenu korisnosti sudjelovanja na radionici
- procjenu opsega usvojenih novih znanja i vještina (u odnosu na početnu razinu)
- ocjenu zadovoljstva načinom prenošenja znanja i samim voditeljem radionice
- povratnu informaciju o motiviranosti sudionika za primjenu naučenog na radionici
- ocjenom najzanimljivijih i najmanje zanimljivih elemenata.

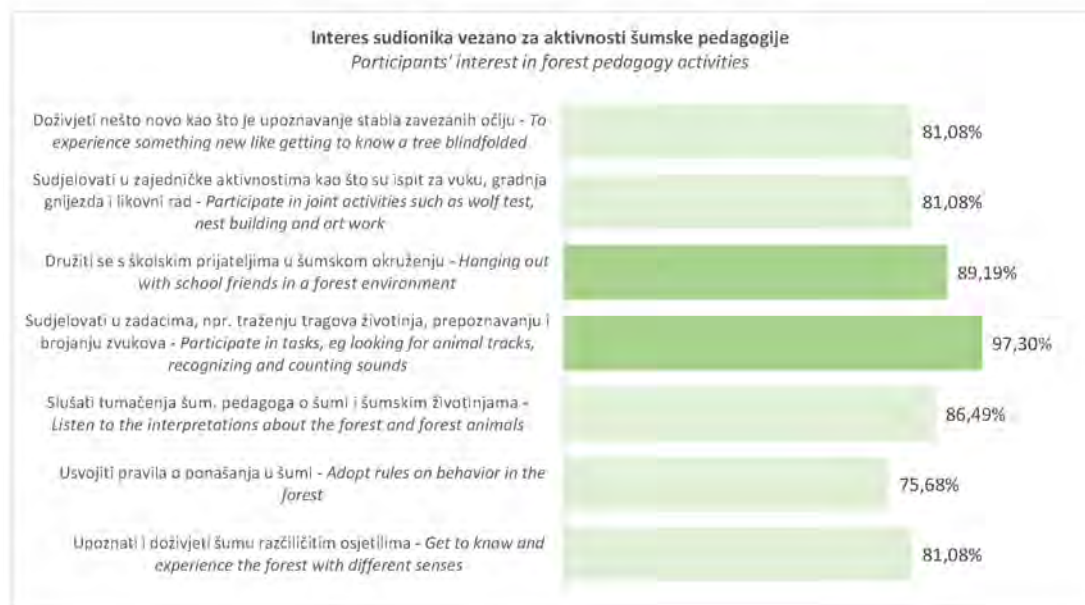
Iz nalaza evaluacijskog upitnika voditelj radionice može sagledati koji su elementi radionice najdojmljiviji sudionicima, a koje dijelove i elemente treba poboljšati, mijenjati ili nadograđivati.

U evaluaciji koja je predmet ovog članka obuhvaćene su procjene, zapažanja o uspješnosti, preporuke i mišljenja djelatnika škola i dječjih vrtića i djece koji su sudjelovali u prije navedenim programima šumske pedagogije. Dvije provedene evaluacije razmatra se odvojeno s obzirom na to da su sudionici terenskih radionica šumske pedagogije bili učenici, a sudionici seminara uglavnom djelatnici odgojno-obrazovnih ustanova, pri čemu su i evaluacijski upitnici bili drukčije strukturirani.

Metode vrednovanja terenskih radionica - *Methods for Evaluating Field Workshops*

Terenske radionice šumske pedagogije provedene su u svibnju 2024. godine u Područnoj školi Prekrvršje i Područnoj školi Planina Donja, na dva različita šumska lokaliteta u blizini škola. Uzorak vrednovanja činilo je 37 učenika iz 4 kombinirana razredna odjela nižih razreda, po dva odjela iz svake područne škole. Odmah po završetku terenskih radionica, svakom je učeniku – sudioniku radionice bio uručen list evaluacijskog upitnika s 5 pitanja.

Ocjena uspješnosti radionica temeljena je na procjeni zadovoljstva sudionika radionicom te ocjenom opsega naučenog sadržaja tijekom radionice. Pritom su ispitanici odgovarali davanjem ocjena (stupnjevana skala ocjena), odabirali među ponuđenih odgovorima putem kojih su mogli ukazati na njima najzanimljivije elemente radionica i na aktivnosti na koje ih je sama radionica potaknula. Posljednje je pitanje bilo otvorenog tipa, kojim se omogućilo djeci da napišu svoje mišljenje ili pak kritiku na provedene aktivnosti.

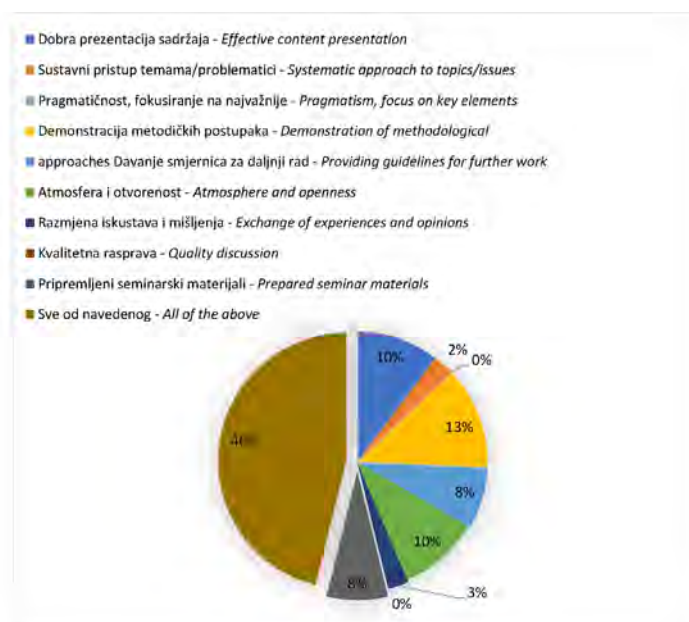


Slika 4. Struktura odgovora o najzanimljivijim aktivnostima radionice šumske pedagogije
Figure 4 Structure of responses regarding the most interesting activities of the FP workshop.

Metode vrednovanja seminara šumske pedagogije – *Methods for Evaluating the Forest Pedagogy Seminar*

Seminar šumske pedagogije održao se 29. svibnja 2024. godine na Fakultetu šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, a praktični dio seminara u šumi Maksimir. Seminaru je nazočilo 30 pedagoških djelatnika iz zagrebačkih osnovnih škola i vrtića, među njima i četvero studenata Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije i Učiteljskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Evaluacijski upitnici podijeljeni su i ispunjeni po završetku seminara,

pri čemu je njih 24 od 30 ispunilo evaluacijski upitnik. Upitnik se sastojao od 6 pitanja, od kojih su prva dva imala za cilj procijeniti zanimljivost i praktičnu primjenjivost sadržaja te su ispitanici na njih odgovarali trostupanj-skom skalom s odgovorima: „slažem se u potpunosti” - „djelomično” - „nikako”. Iduća dva pitanja imala su mogućnost odabira jednog ili više odgovora s ciljem procijene najzanimljivijeg segmenta seminara i poželjnih smjernica za unapređenje budućih edukacija/seminara. Nastavno je bilo pitanje koje je procjenjivalo zainteresiranost sudionika za daljnje usavršavanje u području



Slika 5. Struktura odgovora na pitanje „Što vam se na seminaru najviše svidjelo?”
Figure 5 Structure of responses to the question “What did you like most about the conference?”.

šumske pedagogije, na što su sudionici odgovarali s „da” – „ne znam odlučiti ovaj čas” – „ne”. Posljednjim pitanjem sudionici su ocjenjivali sveukupni dojam seminara ocjenom prema skali od 1 do 5.

REZULTATI

RESULTS

Rezultati evaluacije terenskih radionica – *Evaluation Results of the FP Field Workshops*

Analiziranje i vrednovanje terenskih radionica pretpostavka je unapređenja njihove kvalitete. Voditelji radionica evaluiraju radionice želeći saznati razinu uspješnosti vlastitog izvođenja, koje su im pri tom jake i slabe strane, ali isto tako žele usporediti svoje vještine izvođenja s vještinama svojih kolega.

Ako je predmet vrednovanja sam proces izvođenja, onda je u fokusu ocjena zadovoljstva izvedbom i ostvarenog u odnosu na planirano. Nalaz takve evaluacije ukazuje na kritična mjesta izvođenja i mogućnosti unaprjeđenja, a voditelju daje dobru sliku o kvaliteti vlastite izvedbe.

Kod evaluacije učinka provjeravaju se ishodi vezani za tijekom radionice usvojena nova znanja i vještine.

Neki od ključnih nalaza evaluacije terenskih radionica su sljedeći:

- 97,3 % sudionika je izjavilo da im je sudjelovanje u zadacima kao npr. traženje tragova životinja i brojanje zvukova bila najzanimljivija aktivnost. Ovaj nalaz sugerira da su učenici najviše uživali u praktičnim zadacima koji su uključivali motoričko angažiranje pri istraživačkim zadacima i naprezanje čula/osjetila u doživljajnim zadacima. Te su aktivnosti omogućile učenicima da aktivno sudjeluju i koriste svoja osjetila, što je rezultiralo visokom razinom angažmana i zadovoljstva;
- 89,19 % sudionika istaknulo je da je druženje s prijateljima u šumskom okruženju (ambijentu šume) bio jedan od najboljih aspekata radionice. Ovakav nalaz pokazuje važnost socijalnog aspekta u procesu učenja i istraživanja na otvorenom. Šumsko okruženje, koje je omogućilo opušteno i prirodnu interakciju, doprinijelo je pozitivnom iskustvu i stvaranju prijateljskih veza među djecom.

Struktura cjelovitog nalaza evaluacije terenskih radionica grafički je prikazana na slici 4.

Rezultati evaluacije seminara šumske pedagogije – *Evaluation Results of the Forest Pedagogy Conference*

Svi sudionici seminara (100 %) ocijenili su izlaganja kao zanimljiva i razumljiva. Ovaj rezultat pokazuje da su

predavači uspjeli prezentirati sadržaje na sustavan, jasan i sudionicima zanimljiv način te da su uspjeli da isto bude poticajno za uključivanje sudionike u raspravu. Također, 100 % sudionika potvrdilo je da izložene teme prepoznaje kao praktično primjenjive u njihovoj pedagoškoj praksi. Ovaj rezultat ukazuje na visoku relevantnost i korisnost obrađenih tema za sudionike seminara.

Na temelju analize svih elemenata upitnika te slijedom ukupnog vrednovanja seminara moguće je zaključiti da je seminar bio vrlo uspješan, obilježen srdačnom atmosferom i s opsežnom i plodnom razmjenom iskustava te je bio poticajan za sudionike u smislu primjene spoznatog i naučenog u njihovom odgojno-obrazovnom radu. Nalazi pokazuju da su struktura i sadržaji seminara te izlagači bili percipirani kao naglašeno dobri, pri čemu je velik udio sudionika koji su vrlo zadovoljavajućim ocijenili seminarska predavanja/prezentacije i terensku demonstraciju. Dodatno, većina sudionika je izrazila spremnost za daljnje usavršavanje u području šumske pedagogije. Od sudionika seminara preporučena poboljšanja za dodatno poboljšanje budućih seminara odnose se na obuhvat manjeg broja tema s više detalja i konkretnih primjera. Struktura cjelovitog nalaza evaluacije seminara grafički je prikazana na slici 5.

ZAKLJUČCI

CONCLUSIONS

Slijedom nalaza i rezultata evaluacije terenskih radionica šumske pedagogije, izvode se sljedeći zaključci:

- Provedene evaluacije dvije terenske radionice i seminara šumske pedagogije ukazale su na važnost provjere koncepcije, provedbe i korisnosti u svrhu ocjene postizanja ciljeva programa i usmjeravanja njihovog daljnjeg razvoja.
- Provedbom evaluacije kao završnog elementa u programima radionica i seminara, pri čemu su voditelji evaluacije bili sami izvoditelji programa, a evaluiranu skupinu činili svi izravni korisnici događanja, dobiven je jasan i strukturirani uvid u ključne aspekte programa.
- Rezultati i nalazi evaluacije potvrdili su visoku kvalitetu pripremljenosti i izvedbe programa, umješnost izvoditelja i naglašeni interes i zadovoljstvo korisnika. Kod šumskih radionica evaluacija je ukazala na iznimnu vrijednost socijalne dimenzije šumske pedagogije, što se potvrdilo nalazom da je približno 90 % sudionika ocijenilo druženje s prijateljima u ambijentu šume jednim od dva najbolja aspekta radionice. U slučaju seminara šumske pedagogije evaluacija je pokazala da su korisnici kao posebnu vrijednost seminara prepoznali njegovu praktičnu stranu.

- Komentari i prijedlozi korisnika programa ukazali su na mjesta mogućih poboljšanja programa; u šumskim radionicama to su prijedlozi za uključivanjem dodatnih aktivacijskih elemenata koji traže skupno angažiranje ili uvođenjem elementa kazivanja priča („*storytelling*”). Slijedom takvih nalaza buduće će se radionice dopuniti novim kreativnim zadacima i igrama, npr. gradnjom ptičjeg gnijezda, prepoznavanjem šumskih plodova i dr. U slučaju seminara za odgojno-obrazovne djelatnike usmjeravajuća sugestija vodi prema uključivanju još većeg broja sadržajno-metodičkih uputa za primjenu šumske pedagogije u vlastitoj radnoj sredini, npr. kao vlastoručno izraditi rekvizite i pomagala za vlastiti kratki program šumske pedagogije i sl.

LITERATURA

REFERENCES

- Antičević, A. i L. Zgrablić, 2024: Prvi seminar šumske pedagogije u Hrvatskoj – prikaz seminara održanog 29. 5. 2024. na Fakultetu šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu. Šumarski list 148 (7–8): 409–412.
- Barišić, S., 2018: Ekološka pedagogija: Teorija i praksa u obrazovanju za održivi razvoj. Školska knjiga, Zagreb.
- Bentsen, P., J. Schipperijn, F.S. Jensen, 2013: Green space as classroom: Outdoor school teachers' use, preferences and eco-strategies. Landscape Research 38(5): 561–575.
- Davies, M., 1997: The teacher's role in outdoor play: Preschool teachers' beliefs and practices. U (Fleer, M., ur.): Australian research in early childhood education, Vol. 1. Australian Early Childhood Association, Canberra, Australia, pp. 10–20.
- Forest School Foundation, 2020: A brief history of forest schools around the world. <https://www.theforestschoolfoundation.org/background-information-history>
- Györek, N., 2013: Forest pedagogics in Slovenia. Gozdarski vesnik 4: 225–234.
- Higy-Mandić, F., 1934: Uzgojni domovi i nastava u prirodi. Minerva, Zagreb.
- Jurjević Varga, M., I. Murgić Lepoglavec, 2024: Ususret 1. seminaru šumske pedagogije u Hrvatskoj. Časopis Hrvatske šume 329: 26–28.
- Martinić, I., 2021: Priručnik za edukatore i vodiče u prirodi – kako pripremiti vođene šetnje i šumske radionice. Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Matijević, M., 2001: Alternativne škole - didaktičke i pedagoške koncepcije. Tipex, Zagreb.
- NP Risnjak, 2020: Program šumske pedagogije, autor D. Turk.
- Panić, F., 2017: Outdoor curriculum – „šumski vrtić”. Završni rad, Sveučilište u Zagrebu Učiteljski fakultet, Zagreb. <https://repozitorij.ufzg.unizg.hr/islandora/object/ufzg:426>
- Petrović, A., 2022: Urbanizacija i priroda: Uloga šumske pedagogije u očuvanju ekološke svijesti. Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Pedagoški fakultet.
- Silva.Rei, 2022: Šumska pedagogija. www.silvarei.org
- SILVIVA, 2020: Učenje na otvorenom – u prirodi i s prirodom (SILVIVA Switzerland). <http://silviva.ch>
- Švec, A.M., 2023: Mišljenje roditelja o dobrobiti šumskih vrtića. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu Učiteljski fakultet, Zagreb. <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:147:795670>
- Williams-Sieghedsen, J., 2017: Understanding the Danish forest school approach: Early years education in practice. Routledge, New York.
- Zeljak, M., 2021: Šumska pedagogija. Završni rad, Sveučilište u Zagrebu Učiteljski fakultet, Zagreb. <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:147:494325>

SUMMARY

Forest pedagogy (FP), an educational concept that utilizes the forest as a natural classroom, is gaining recognition in Croatia. The establishment of the Silva.Rei Center for Forest Pedagogy in 2022 marked a significant step in the development of forest pedagogy and its associated educational approach in the country. This paper aims to present evaluation findings from two FP programs conducted by the Center within the “Znanje iz šume za šumu” project.

The evaluation encompasses two distinct FP programs: field workshops for elementary school students and a seminar for educational staff. The assessment focused on participant satisfaction, the usefulness and practical applicability of the content for educators, the level of knowledge acquired, and the most engaging elements of the workshops for students. Evaluation results indicate high levels of engagement and motivation among participants, underscoring the social and ecological benefits of FP, along with recommendations for future program improvements.

Key findings from the evaluation of the field workshops include the following:

- 97.3% of participants reported that engaging in activities such as tracking animal signs and counting sounds was the most enjoyable aspect. This finding suggests that students particularly enjoyed practical tasks involving physical engagement and sensory exploration. These activities allowed students to actively participate and use their senses, resulting in a high level of engagement and satisfaction.
- 89.19% of participants highlighted that socializing with friends in the forest environment was one of the best aspects of the workshop. The high percentage of students who emphasized social interaction underscores the importance of the social dimension in outdoor learning and exploration. The forest setting fostered relaxed and natural interactions, contributing to positive experiences and the formation of friendships among children.

All the FP conference participants (100%) rated the presentations as interesting and comprehensible. Additionally, 100% confirmed that the topics presented were perceived as practically applicable. This result indicates a high relevance and usefulness of the topics covered for seminar participants. The findings reveal that the structure and content of the seminar, along with the presenters, were perceived as notably effective, with a significant proportion of participants expressing high satisfaction with the presentations and field demonstrations. Furthermore, most participants indicated a willingness to pursue further training in the field of forest pedagogy.

For the evaluation of the FP field workshops included 37 students from mixed lower grades. An anonymous questionnaire assessed participant satisfaction and the level of content learned during the workshop, indicating a high level of engagement and enjoyment among students.

Similarly, the forest pedagogy conference held at the Faculty of Forestry and Wood Technology in Zagreb, involved 30 educators, including four students. The evaluation revealed that all participants found the presentations engaging and comprehensible, with unanimous agreement on the practical applicability of the topics. Recommendations for future seminars include focusing on fewer topics with more depth and incorporating more concrete examples.

In conclusion, forest pedagogy has proven to be an effective educational approach that imparts knowledge about nature while fostering social skills and environmental awareness among children. Regular evaluations during the program's duration are essential for ensuring the program remains dynamic and relevant.

KEY WORDS: forest education, Silva.Rei Forest Pedagogy Center, sustainable development, learning in and with nature

Trideset godina Akademije šumarskih znanosti

Marijan Grubešić¹



Prvi predsjednik Akademije akademik Slavko Matić i prvi tajnik Akademije prof. dr. sc. Branimir Prpić na svečanom obilježavanju desete obljetnice Akademije šumarskih znanosti 2005. godine u dvorani Hrvatske gospodarske komore (arhiva HŠD)

Stoljetna tradicija organiziranog šumarstva u Hrvatskoj vezana je uz brojne značajne događaje i znamenite osobe. Nema godine i mjeseca u kojemu se ne nađe pokoja vrijedna obljetnica. Važno se prisjetiti značajnih događaja u našoj povijesti vezanih za šume, šumare i šumarstvo.

Pred nama je 2025. godina u kojoj se obilježava veći broj okruglih obljetnica, bilo da se radi o institucijama ili osobama. Teško je navesti sve značajne datume, posebice kada bi uključili i lokalno važne datume događanja ili osobe koje su ostale zapisane u šumarskim analima.

Na nacionalnoj razini pred nama je nekoliko obljetnica koje će zasigurno izazvati pozornost struke, već i šire javnosti, a nadamo se i medija, pa dajemo kratki prikaz značajnih godišnjica koje nam predstoje.

...

Najmlađa slavljenica u 2025. godini je Akademija šumarskih znanosti. Osnovana je 14. veljače 1995. godine. Osnivačka skupština održana je u prostorijama HŠD-a, a toj osnivačkoj skupštini nazočilo je 12 članova. Osnivači su bili: prof. dr. sc. Mladen Figurić, prof. dr. sc. Mi-

lan Glavaš, dr. sc. Joso Gračan, dr. sc. Nikola Komlenović, prof. dr. sc. Ante Krstinić, prof. dr. sc. Boris Ljuljka, prof. dr. sc. Slavko Matić, prof. dr. sc. Šime Meštrović, prof. dr. sc. Branimir Prpić, prof. dr. sc. Đuro Rauš, prof. dr. sc. Zvonko Seletković i prof. dr. sc. Josu Vukelić.

Za prvog predsjednika izabran je prof. dr. sc. Slavko Matić, a za prvog tajnika prof. dr. sc. Branimir Prpić.

U proteklih 30 godina Akademija je ostvarila zadatke i ciljeve zbog kojih je i osnovana, a to je izdavanje znanstvenih i stručnih publikacija. Posebnu težinu predstavljaju tematske monografije posvećene našim najvažnijim gospodarskim vrstama, ali i šumama u Hrvatskoj općenito.

Akademija je organizator ili suorganizator svih većih znanstvenih i stručnih skupova u Hrvatskoj.

Iako po članstvu nevelika, Akademija okuplja najeminentnije stručnjake iz područja šumarstva i drvne tehnologije, a članska pripadnost je ograničena vrlo strogim kriterijima za izbor, kao i limitiranim brojem članova u zvanjima i odsjecima.

(Šumarski list 11-12/2024.)

¹ Prof. dr. sc. Marijan Grubešić, Akademija šumarskih znanosti

Medonosne biljke, značenje pčela i njihovih proizvoda

Milan Glavaš¹

Medonosnim biljkama nazivamo one vrste iz čijih cvjetova pčele uzimaju nektar, pelud ili pelud i nektar zajedno, te one biljne vrste na kojima pčele uzimaju medljiku, kao i biljke sa kojih sakupljaju propolis. Između pčela i medonosnih biljaka postoji vrlo uska povezanost i ovisnost. Naša područja bogata su raznim medonosnim biljem, pa u Hrvatskoj postoje povoljni uvjeti za razvoj iskoristivog pčelarstva. Smatra se da u nas ima između 200 i 250 (Šimić 1980) važnih medonosnih biljnih vrsta. Riječ je o vrstama koje se ističu količinom izlučenog nektara i svojom brojnošću. Velik broj drugih biljnih vrsta u nas je također medonosan, ali one imaju manju važnost. S medonosnih vrsta pčele sakupljaju nektar ali i pelud, te smolaste i balzamaste tvari (propolis) koje su neophodne za normalan razvoj pčelinje zajednice. U godinama povoljnim za pojavu medne rose (medljike) pčele je sakupljaju sa crnogoričnih (jela i smreka) i bjelogoričnih (hrast, javor, lipa, bukva) vrsta drveća. Uz domaće vrste u pojedinim područjima Hrvatske vrlo su važne neke strane medonosne vrste kao što su bagrem, amorfa i velika zlatnica. Velika zlatnica (*Solidago gigantea* Ation) je ponegdje vrlo zastupljena i daje obilnu pčelinju pašu. Velike su razlike u vrstama bilja između kontinentalnog i primorskog dijela zemlje. Poznavanje medonosnog bilja od velikog je značaja za rentabilnu pčelinju proizvodnju i dobre prinose meda. Pčelinju pašu čine biljke koje rastu u prirodi i koje se uzgajaju. Na zapuštenim i obrađenim površinama trebalo bi saditi i sijati medonosne biljke. Postoje i biljke koje pčelari ciljano sade ili siju kako bi poboljšali pčelinju pašu. U nekim europskim državama potiču sadnju medonosnog bilja. Kod nas bi se kao medonosne biljke mogle uzgajati lavanda, majčina dušica, kadulja, komorač, visibaba, šafran i neven.

Klimatska raznolikost Hrvatske pogoduje razvoju velikog broja biljnih vrsta od kojih su mnoge medonosne. One se uglavnom nalaze na staništima kao što su šume, parkovi, oranice i vrtovi. U sastavu ritskih šuma za pčelarstvo su posebno zanimljive šume bijele vrbe jer daju nektar i pelud, te predstavljaju značajnu ranu pčelinju pašu. Šume crne johe s trušljikom i šume poljskog jasena s kasnim drijemovcem u punoj vegetaciji daju dopunsku pčelinju pašu. Dosta mede i sastojine sa sremzom. Šumske zajednice sladunovo-cerovih šuma i



Sakupljanje meda - pećinski crtež, Valencija, Španjolska prije 8000 godina (izvor: Wikimedia Commons)

šume hrasta medunca i crnog jasena veoma su značajne za pčelarstvo, jer osim što izlučuju medun, obuhvaćaju i velik broj medonosnih vrsta. Borove šume, kao i jelove, osiguravaju značajnu pčelinju pašu. Čiste bukove šume za pčelarstvo imaju manje značenje jer se nalaze u području hladnije klime, a istodobno obuhvaćaju manji broj medonosnih vrsta, uglavnom u sloju grmlja. Pojedine šumske sastojine obrasle lipom, posebice bagremom, predstavljaju najvažnija područja za lipovu, odnosno bagremovu pašu. Acidofilne bukove šume značajne su za pčelarstvo, jer u nižim dijelovima uz bukvu rastu hrast kitnjak i kesten u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. Sve biljke ne mede u isto vrijeme i ne daju iste količine nektara. Biljke koje cvjetaju u rano proljeće (iva, visibaba, voćkarice) imaju nižu temperaturnu granicu medenja, a lipa, suncokret, metvica, vrijesak i sl., koje cvatu ljeti, prilagođene su višim temperaturama. Najveće lučenje nektara je za vrijeme cvjetanja. Za pčelinju pašu je vrlo značajno u kojem mjesecu pojedine biljke cvatu i koliko je dugo vrijeme cvjetanja tj. kalendar cvjetanja.

Prve biljke (lijeska, šafran, visibaba i još neke) cvatu u veljači. U ožujku cvatu neke vrbe, šumarica, maslačak i još dosta vrsta. Znatan broj vrsta cvate u travnju, kao što su javori, grab, bukva, jasen, jabuka, trešnja, višnja, šljiva, kruška, hrastovi, smreka i niz drugih. Travanj je ključni mjesec za pčelarstvo. Svibanj je mjesec kada cvate dosta biljaka. Među njima su značajne jela, stolisnik, trušljika, žutilovka, kadulja, djetelina i druge. Posebno je važno istaknuti da u svibnju cvate bagrem – glavna paša u kontinentalnoj Hrvatskoj. U šumama se

¹ Prof. dr. sc. Milan Glavaš, Zagreb

uvijek pronađe ponešto biljaka koje pčelama osiguravaju pašu cijelo ljeto. U kasno ljeto cvate tek nekoliko vrsta medonosnih biljaka npr. vrisak, mrazovac, bršljan.

Pčele su vrlo učinkoviti oprašivači bilja i osiguravaju opstanak mnogih šumskih vrsta. Većini biljaka opstanak je povezan s pčelama i drugim oprašivačima. Učestvuje pčela u oprašivanju je neprocjenjivo i nezamjenjivo zbog niza prednosti koje pčele posjeduju pred ostalim prirodnim oprašivačima. Pčele su značajna karika u prirodi. Bez njih ne bi mogle opstati mnoge biljke koje ovise od oprašivanja cvjetova pomoću insekata. Oprašivanje pčelama doprinosi povećanju prinosa i poboljšanju kvalitete proizvoda u poljoprivredi i važna je mjera u povećanju poljoprivredne proizvodnje. Pčele tokom dana posjećuju cvjetove samo jedne vrste, sve dok cvjetovi izlučuju nektar. Nakon toga pčele odlaze na drugu vrstu. Tijekom dana pčela opraši oko 1000 cvjetova.

U Hrvatskoj je gotovo 70 % proizvedenog meda iz kontinentalnih i mediteranskih šuma. Listopadne šume u kontinentalnoj Hrvatskoj vrlo su značajan prirodni izvor za razvoj pčelarstva. One obuhvaćaju brojne šumske zajednice u kojima dominira različito šumsko drveće. Uz peludne paše te su šume izvor nektara. U tim šumama važne su medonosne vrste javori, crni jasen, jarebika, glog, svib, klokoč, obična kalina i druge. Za pčelarstvo vrlo su zanimljive šume poljskog jasena sa sremzom. U sloju drveća velik udio ima medonosna sremza. U sloju grmlja vrlo je obilna plava kupina. U tim šumama rastu glogovi, lijeska, obična kurika, crna bazga, crvena hudika i dr. U šumama prevladavaju biljke koje su značajne za proljetnu pašu (vrbe). U sloju grmlja rastu mnoge medonosne biljke.

Medunčeve i sladunove šume imaju veliku važnost za pčelarstvo. Zbog medljike i medonosnih biljaka. Lisne uši na hrastu sišu biljni sok, a višak izbacuju iz organizma u obliku sitnih kapljica koje pčele sakupljaju. To je tzv. medna rosa, a med je medljikavac. Takva paša može trajati tri tjedna.

Na brdskim livadama obično i često rastu brdska djetelina, širokolisna graholika, bijela celinčica, mnogo-cvjetna bjeloglavica, obični dubačac i dr. Sve su vrlo dobre medonosne vrste.

Vrbova paša

Vrbova paša pojavljuje se u isto vrijeme kada i voćna. Sve su vrbe medonosne i u povoljnim uvjetima osiguravaju prvu proljetnu pašu. Vrbe daju izvrsnu peludnu i nektarsku pašu. Vrba može dati 10 do 15 kg meda po košnici. Vrba iva može dati 15 do 29 kg meda po košnici.

Bagremova paša

Bagrem je glavna paša u kontinentalnoj Hrvatskoj. Prinosi meda po bagremu su vrlo visoki, do 50 kg po košnici. Prinosi meda po jednom hektaru mogu biti 600 do 1000 kg, a dnevni unos može biti 15 kg. Ako se uzme višegodišnje razdoblje vidljivo je da je bagrem sigurna paša jer medi svake godine. Medenje izostane samo ako se pojave kasni mrazovi.

Lipova paša

Lipe spadaju u red najboljih medonoša s dnevnim unosom i do 6 kg i ukupnim prinosom do 60 kg po košnici. Medenju pogoduju lijepi i topli dani bez vjetra i velikih oscilacija temperature. Pčele sakupljaju i medljiku ako se pojavi na lipama. Lipov med se ubraja u prvoklasne vrste meda.

Paša amorfe

Amorfa cvjeta u drugoj polovici svibnja i početkom lipnja, a cvjetanje traje 15 do 20 dana. Važno je znati da cvatnja amorfe nastupa poslije cvjetanja bagrema, a prije cvjetanja kestena. Amorfa često medi i daje dobre prinose meda. Najbolje prinose daje kad je vrijeme toplo i s dosta vlage u zraku. Dnevni unosi mogu iznositi i do 7 kg.

Kestenova paša

Kesten počinje cvjetati početkom lipnja (poslije bagrema). Cvjetanje traje 10 i više (20) dana. Znatne su razlike u vremenu cvatnje i pojedinih mikrolokacija, a na što utječe geografski položaj i nadmorska visina. Kesten ima sitan cvijet pa suho vrijeme isuši nektar. Ako je vrijeme toplo s dosta vlage u zraku, kesten zna obilno zamediti pa prinos meda može iznositi do 30 kg. Dnevni unos može biti oko 5 kg. Prvih nekoliko dana kesten slabo medi, pčele donose samo pelud, a zatim nektar, pa pčele mogu zapuniti košnicu peludom. Osim meda kesten može dati i medljiku. Kestenov med sadrži i do 100 puta više peludnih zrnaca u odnosu na bagremov med. Kestenov med poznat je kao glavni izvozni proizvod pčelarstva u Hrvatskoj na europsko tržište.

Osim navedenih, u šumama pridolazi niz važnih medonosnih biljaka, kao što su voćkarice i dr.

Pčele i njihovi proizvodi

Postoje dokazi da je pčelarstvo jedna od najstarijih grana poljoprivrede koja se bavi uzgojem pčela radi dobivanja pčelinjih proizvoda, te oprašivanja uzgojenih i samoniklih biljaka.

Pčelama pripada posebno mjesto u biljnom svijetu. Pčelarstvo je od velikog značenja za čovjeka i društvo. Pčela je najstarija domaća životinja i uzgaja se preko 15000 godina. Postoje navodi da su pčele postojale približno 56 milijuna godina prije čovjeka. O pčelama su ispričane mnoge legende, ispisane pjesme, nacrtane i uklesane slike, stvoreni mitovi i legende. Medonosna pčela je do 16. stoljeća živjela samo u Europi, Aziji i Africi, a kasnije su košnice s pčelama prenesene dalje. Smatra se da u Europskoj uniji ima 8 milijuna košnica pčela koje na godinu daju 20000 tona meda i drugih pčelinjih proizvoda (cvjetni prah, mliječ, propolis, vosak, pčelinji otrov).

Smatra se da su pčele najdragocijenija bića prirode. Pčela je vjerojatno jedna od najistraživanijih vrsta kukaca na svijetu. Ekološko značenje domaće pčele (*Apis mellifera*) je neprocjenjivo. Jedna pčela posjeti na dan i do 700 cvjetova, a jača pčelinja zajednica posjeti na dan 20 do 30

milijuna cvjetova. Domaće pčele osiguravaju oko 90 % oprašivačke djelatnosti. Kroz oprašivanje ratarskih kultura korist pčelarstva je 30 – 50 puta veća od vrijednosti izravnih pčelinjih proizvoda (meda, voska, peluda i dr.). Po tome je pčela najvažnija životinja na svijetu.

U Hrvatskoj postoje povoljni uvjeti za razvoj pčelarstva, jer su naša područja bogata medonosnim biljem. Raznolikost područja osigurava stalnu pčelinju pašu i omogućuje pčelama da prvenstveno za sebe, a potom i za čovjeka proizvedu niz kvalitetnih proizvoda.

Nektar

Nektar je slatkasta tekućina koju luče specijalne žlijezde tzv. nektariji (mednice) ili mednici biljaka u cvjetovima ili na drugim dijelovima biljaka. Nektar je vodena otopina sastavljena od niza kemijskih tvari. Proces izlučivanja nektara je složen. Nektariji mogu biti smješteni i na lapovima, laticama ili na njušci tučka. Ukoliko su nektariji smješteni izvan cvjetova (npr. na vanjskoj strani čaške) tada ih nazivamo izvancvjetnim ili ekstraloralnim nektarijima. Postoje i ekstraloralni nektariji koji su smješteni na vegetativnim dijelovima biljke (npr. pri osnovi plojke lista, na peteljci, palistićima, zaliscima).

Na količinu i kakvoću nektara utječu unutarnji (nasljedni) i vanjski čimbenici. Kod vrba nektariji muških cvjetova izlučuju više nektara od ženskih. U nekih vrsta nektariji cvjetova smještenih na vršnim dijelovima krošnje (npr. u lipe) izlučuju više nektara od onih smještenih u nižim dijelovima.

Od vanjskih čimbenika na izlučivanje nektarija utječu vremenski čimbenici (temperatura, vlažnost, vjetar – jaki vjetrovi smanjuju izlučivanje nektara) i tlo.

Pelud

Pelud predstavlja skup peludnih zrnaca koji se razvijaju u peludnicama prašnika biljaka sjemenjača. Pelud ili cvjetni prah pčele sakupljaju s cvjetova i time čine veliku korist za biljni svijet u prirodi. Pelud je pčelama glavni izvor bjelančevina, masti, mineralnih tvari i vitamina bez kojih ne bi bilo životne zajednice pčela. Također sadrži masti i šećere. Pelud sadrži tvari o kojima ovisi napredak i razvoj pčelinje zajednice. Pelud je i sastojak meda i daje mu mnoga ljekovita svojstva i koristi se u liječenju mnogih bolesti. Pčelinja zajednica potroši godišnje oko 18 kg peluda, a jaka zajednica i do 40 kg. Važno je znati da je peludna paša ravnomjerno raspoređena tijekom cijele godine.

Propolis

Propolis predstavlja smjesu smolastih, balzamastih tvari koje obavijaju pupove, prije svega drvenastih biljnih vrsta (breze, topole, hrasta i dr.). Izvor propolisa može biti i zrno peluda, jer pčele proizvode propolis i tamo gdje nema drveća. Boja propolisa varira, što ovisi od prirodnih izvora s kojih ga pčele sakupljaju. Propolis su stari narodi upotrebljavali protiv kožnih bolesti i rana te za mumificiranje ugleđenika. Apotekari su ga upotrebljavali za pravljenje raznih tinktura za masažu i dezinfekciju, a danas ga farmacija koristi diljem svijeta u vrlo

širokoj paleti proizvoda. U Hrvatskoj propolis ima dugu tradiciju u pučkoj medicini i primjenjuje se u liječenju brojnih bolesti. Suvremena medicinska znanost daje sve veće značenje pčelinjim proizvodima. Propolis mnogi nazivaju „zlatnim” proizvodom košnica.

Propolis je tvar kojom pčele učvršćuju dijelove košnice i zatvaraju pukotine, a kao antiseptik služi za sterilizaciju unutarnjih površina, za „mumificiranje” leševa drugih kukaca i životinja koje upadnu u košnicu. Zbog protubakterijskog i protugljivičnog djelovanja važna je uloga propolisa u sterilizaciji košnice, jer se njegovim isparavanjem stvara nepovoljna mikroklima za razvoj različitih patogena.

Matična mliječ

Matična mliječ je pelinji proizvod kojega one koriste za prehranu svojih ličinki. Vrlo je vrijedan proizvod, jer ličinke koje pčele hrane matičnom mlijekom razvijaju se u buduće matice, odnosno trutove – jedinke koje će osigurati umnožavanje pčelinje zajednice.

Matična mliječ je prirodni stimulator koji sadrži visoku koncentraciju biološki aktivnih tvari za životne procese, posebice mnogo pantonske kiseline koja daje organizmu imunitet. Ona ima izrazita antibakterijska svojstva i služi za liječenje brojnih tegoba.

Medna rosa ili medljika

Medljika ili medna rosa je slatka ljepljiva izlučevina (sok) koja nastaje kao nusprodukt prehrane nekih kukaca (ušenci, lisnate uši, štitaste uši) na lišću bjelogoričnih (hrast, javor, lipa, bukva, vrba i dr.) i crnogoričnih (jela, smreka, ariš i dr.) vrsta drveća. Ti se kukci u povoljnim uvjetima javljaju na listovima i drugim dijelovima drveća. Oni sišu sokove i na lišću ostavljaju slatke izlučevine koje pčele sakupljaju. Danas je poznato više od 250 različitih kukaca koji je proizvode. Gotovo sve vrste hrastova mogu biti domaćini provocirajućih kukaca i davatelji medne rose. Na hrastu nastaje kao fenomen gdje biljka tijekom vegetacijskog razdoblja postupno odbacuje neoplođene žirove, što je popraćeno obilnim izlučivanjem soka. Proces odbacivanja žirova može trajati i do dva mjeseca. Od crnogoričnih medljika najvažnija je ona koja se javlja na jeli i smreki, a izlučuju je štitaste uši. Vrbovu medljiku izlučuje velika vrbova uš. Medeći cvrčak se hrani s više biljnih vrsta na kojima izlučuje veliku količinu medne rose.

Med od medljike naziva se medljikovac. On je itekako cijenjen u ljudskoj ishrani, ali nije pogodan za pčelinju zimnicu, jer uzrokuje proljev i uginuće pčela.

Med

Med je zbog svoje slatkoće davno privukao ljudsku pozornost. U njemu je obilje tvari korisnih za ljudski organizam. Izvor meda može biti iz nektara ili iz medljike. Nektar je osnovna tvar od koje pčele proizvode med. Enzimi iz peluda i meda u najmanjim koncentracijama dobro služe ljudskom organizmu. Antimikrobne tvari čuvaju med od kvarenja, što se potvrđuje o nalazu meda u u posudama starim nekoliko tisuća godina.

Šumski med i medljikovac imaju jače antibakterijsko djelovanje nego cvjetni med. Od cvjetnih medova najučinkovitiji su se pokazali lipov med i med jesenskog vrieska. Slabiji učinak ima med od maslačka, bagrema i bijele djeteline.

Med svojim antibiotskim djelovanjem pomaže zacjeljivanje gnojnih rana. Medni pripravci pomažu kod upale grla, čira na želucu i dvanaestercu i kod drugih želučanih tegoba, kod bubrega, mokraćnog mjehura, zatvora i proljeva. Koristan je i za srce. Med se koristi i u kozmetici.

Vosak

Vosak se koristi za izradu ukrasnih svijeća, u umjetničkom obrtu, za voštanu plastiku, umjetne ruže, u slikarstvu. Najviše se koristi za kozmetičke i ljekarničke preparate. Vosak je osnova svih finih krema za lice, jer je to najbolji prirodni emulgator. Može se koristiti i protiv peludne alergije.

Pčelinji otrov

To je izlučevina želučanog sustava pčela, a osnovna mu je prirodna namjena da štiti pčelu i njezinu zajednicu od neprijatelja. To je gusta tekućina vrlo karakterističnog mirisa i gorkastog kiselkastog okusa.

Pčelinji se otrov uzima od pčela elektrostimuliranjem na „ubod“ na staklenu pločicu.

KORIŠTENI IZVORI

- Balen, A., M. Bučar, Đ. Juić, A. Petračić, ur., 2003: Pčelarstvo u Petrinji 1952. – 2002. Pčelarska udruga Petrinja, Petrinja.
- Bučar, M., 2008: Medonosne biljke kontinentalne Hrvatske. Matica Hrvatska Petrinja, Učiteljski fakultet Zagreb – Podružnica Petrinja, Grafički zavod.
- Kremer, D., J. Brajković, D. Bubalo, 2021: Medonosno bilje regije Gacke. Hrvatska gospodarska komora, Zagreb.
- Šimić, F., 1980: Naše medonosno bilje. Znanje, Zagreb.
- <https://blog.dnevnik.hr/apikultura/2014/04/1631755223/kalendar-cvatnje-medonosnog-bilja.html> – Kalendar cvatnje medonosnog bilja
- <https://gospodarski.hr/rubrike/pcelarstvo-rubrike/medonosno-bilje-za-pcelinju-pasu/> – Medonosno bilje za pčelinju pašu
- https://hr.wikipedia.org/wiki/Medonosno_bilje – Medonosno bilje
- <https://hr.wikipedia.org/wiki/Pcelarstvo> – Pčelarstvo
- <https://net.hr/magazin/uradi-sam/medonosno-bilje-po-mjesecima-doznajte-kad-koja-biljka-cvjeta-664dcfb0-b9f6-11ec-b771-0242ac120057> – Medonosno bilje po mjesecima – doznajte kad koja biljka cvjeta
- <https://pcelarenje.com/wp-content/uploads/2020/09/medonosno-bilje.pdf> – Medonosno bilje kontinentalnog područja
- <https://www.agroklub.com/pcelarstvo/> – Pčelarstvo
- <https://www.agroklub.com/pcelarstvo/medonosne-biljke-koje-bi-treballi-uzgajati/38917/> – Medonosne biljke koje bi trebali uzgajati
- <https://www.medonosno-bilje.com/> – OPG Glumpak – Rasadnik medonosnog bilja
- <https://www.uppula.hr/pcelarenje/medonosno-bilje> – Udruga pčelara Pula - Medonosno bilje



Bagremova paša - glavna paša u kontinentalnoj Hrvatskoj

Godišnji susret Pro Silve 2025. godine na Sardiniji

Oliver Vlainić¹

Članice europskog udruženja Pro Silva okupile su se od 7. do 9. svibnja 2025. na talijanskom otoku Sardiniji. Organizatori godišnjeg okupljanja bili su Pro Silva Italija, a pomoć su im pružili Regionalna šumarska agencija Sardinije, Šumarska škola Nuora (sveučilišni studijski centar Sveučilišta Nuoro u središnjoj Sardiniji) te sardinijske općine Gavoi, Seneghe i Orgosolo. Skup je održan pod nazivom „Integriranje bioraznolikosti i prilagodbe klimatskim promjenama u mediteranskim šumama”. Na skupu je sudjelovalo 60 šumarskih stručnjaka iz 21 članice Pro Silve, 3 iz zemalja kandidatkinja i 5 gostiju. Hrvatsku delegaciju činili su predsjednik sekcije HŠD-a Pro Silva Croatia izv. prof. dr. sc. Stjepan Mikac, dopredsjednica HŠD-a mr. sp. Mandica Dasović, tajnik HŠD-a Oliver Vlainić, dipl. ing. šum. i član HŠD-a doktorand Marko Orešković, mag. ing. silv.

Pro Silva je europska organizacija koja promiče koncepte šumarstva bliskog prirodi i šumarstva kontinuiranog pokrova. Osnovana je 1989. godine u Sloveniji. Trenutno organizacija ima 22 punopravna člana i nekoliko zemalja s pridruženim članstvom. Od 2018. godine pridruženi su članovi iz Sjedinjenih Američkih Država (Forest Stewards Guild, New England Forestry Foundation), Indije (ForEco India), Brazila (ACEF St. Catarina), Kosova (CNVP), Novog Zelanda (Tane's Tree Trust) i IFSA-e (Međunarodno udruženja studenata šumarstva), što je početak formiranja globalne mreže. U Pro Silvu je uključeno više od 6500 stručnjaka i vlasnika šuma. Pro Silva promiče svoja načela i koncepte kroz europski program edukacije o šumarstvu koji uključuje seminare, izlete i praktičnu obuku za prenamjenu jednodobnih u raznodobne šumske sastojine.

Pro Silva Italija osnovana je 1996. godine. Ima stotinjak članova podijeljenih u pet podružnica. Na području Italije uspostavila je šest demonstracijskih šuma u kojima se upravlja po Pro Silva načelima gospodarenja šumama. U priopćenju za medije sa skupa poručeno je sljedeće:

Sardinija je odabrana za mjesto održavanja sastanka zbog svoje reprezentativne uloge unutar mediteranskog bazena. Njezine raznolike vrste šuma i snažna kulturna baština odražavaju mnoge ključne probleme s kojima se danas suočava gospodarenje mediteranskim šumama, poput ranjivosti na sušu i šumske požare te poteškoća u



Godišnja skupština Pro Silve 2025. godine na Sardiniji

postizanju proizvodnje vrijednog drva. U tom kontekstu, s obzirom na to da je Mediteran prepoznat kao druga najveća svjetska žarišna točka bioraznolikosti, multifunkcionalna uloga šuma ključna je za potporu lokalnim gospodarstvima i zajednicama.

Program će se usredotočiti na:

- *Gospodarenje panjačama i zajedničkim šumskim dobrima kao tradicionalnom korištenju šuma, uz inovativne pristupe primjeni Pro Silva načela unutar tih sustava.*
- *Integrirano gospodarenje šumama usmjereno na uravnoteženje očuvanja bioraznolikosti s proizvodnjom drva i pluta.*
- *Strategije prilagodbe klimatskim promjenama i sprječavanja požara u šumama s dugogodišnjom poviješću gospodarenja s niskim utjecajem.*

Prvog dana 7. svibnja okupljanje sudionika bilo je u hotelu Taloro. Hotel se nalazi u općini Gavoi na umjetnom jezeru Gusana, okruženom mediteranskom šumom. Toga dana održana je godišnja skupština Pro Silve. Na skupštini su prezentirani i usvojeni izvještaji i program rada. Najavljeno je domaćinstvo sastanka sljedeće godine u Mađarskoj (Višegrad od 9. do 11. rujna 2026.), ali i odlučeno kako će 2027. godine domaćin biti Hrvatska, te potvrđeno domaćinstvo Portugala 2028. godine. Također je usvojena Strategija Pro Silva Europa 2030+. Tom strategijom planirano je da šumarstvo blisko prirodi do 2050. godine bude prevladavajući način gospodarenja šumama u Europi. Nakon skupštine kroz više prezentacija sudionici skupa upoznati su s gospodarenjem šumama na Sardiniji te su im prezentirane

¹ Oliver Vlainić, dipl. ing. šum., Hrvatsko šumarsko društvo

teme i mjesta koja će se posjetiti sljedeća dva terenska dana. Prezentiran je i projekt LIFE GoProForMED koji se provodi i na Sardiniji. Glavni cilj ovoga projekta je poboljšati status očuvanosti četiri ciljane šumska staništa unutar mediteranske biogeografske regije: šume hrasta plutnjaka (*Quercus suber*), šume hrasta crnike (*Quercus ilex* i *Quercus rotundifolia*), šume pitomog kestena (*Castanea sativa*) i (sub)mediteranske borove šume s endemskim crnim borovima. Projekt se provodi primjenom modela upravljanja bliskih prirodi na 12 lokacija smještenih unutar područja Natura 2000 u četiri zemlje mediteranskog područja: Španjolska, Francuska, Italija i Grčka.

Sardinija je talijanski otok smješten u Sredozemnom moru. Samo 12 km dijeli ga od otoka Korzike koji pripada Francuskoj. Po veličini je, nakon Sicilije, drugi i talijanski i sredozemni otok. Površina otoka iznosi 24 090 km². U smjeru sjever-jug otok je dugačak 240 km, a u smjeru sjever-jug 120 km. Prevladava brdsko-planinski reljef s najvišim otočnim vrhom od 1 834 m. Gdje nema većih šumskih kompleksa tipičan izgled krajolika je poljoprivredna površina s raštrkanim drvećem i mediteranskim grmljem. Na otoku živi oko 1,6 milijuna stanovnika. Ima tri nacionalna parka i 10 regionalnih parkova. Osim talijanskim jezikom na otoku se govori autohtonim sardskim jezikom.

Autonomna regija Sardinija u sastavu Republike Italije postoji od 1948. godine. Ima poseban status koji joj daje veću političku autonomiju i kulturne mogućnosti. Danas je Sardinija podijeljena na osam pokrajina. Samostalna Kraljevina Sardinija postojala je između 1297. i 1861. godine, kada je postala dio Kraljevine Italije. Kraljevina Sardinija obuhvaćala je otok Sardiniju i velika područja koja se danas nalaze u Francuskoj i Italiji. Savojska dinastija vladala je Kraljevinom Sardinijom, a nakon nastanka ujedinjene Kraljevine Italije nastavila je vladati talijanskim kraljevstvom do proglašenja republike 1946. godine. Današnji grb Autonomne regije Sardinije s glavama četiri Maura, odraz je povijesti Sardinije i borbe kršćana protiv muslimana. Na bijeloj podlozi grba je crveni križ koji simbolizira križ Sv. Jurja, i u svakom polju

se nalazi po jedna maurska glava s povezom preko očiju. Te odrubljene glave predstavljaju četiri Maura stradala u bitci kod Alcoraza 1096. godine, u kojoj je po legendi za pobjedu vojske aragonskog kralja zaslužan vitez odjeven u bijelo s križem Sv. Jurja.

Šuma i šumskih zemljišta na Sardiniji ima 1,3 milijuna ha (54 % ukupne površine). Pod šumom je samo 48 %, a ostala površina se vodi kao šumsko zemljište, u što spadaju degradacijski oblici mediteranskih šuma. Od ukupne šumske površine 65 % je u privatnom vlasništvu, a 35 % u javnom vlasništvu, od čega su 22 % općinske šume, 10 % državne šume (regionalne šume Sardinije) i 3 % ostale javne šume. U visokim šumama prevladavaju šume hrasta crnike na 255 tisuća ha (43 %) i šume hrasta plutnjaka na 153 tisuće ha (25 %). Ostale bjelogorične hrastove šume s prevladavajućim udjelom hrasta medunca prostiru se na 88 tisuća ha (15 %). Borovih šuma ima 35 tisuća ha (6 %).



Stabla hrasta plutnjaka (lijevo s oguljenom korom), medunca (sa svjetlo zelenim lišćem) i crnike (u pozadini s tamnijim lišćem) uz jezero Gusana

Šumarska državna služba na Sardiniji postoji od 1956. godine, a počeci brige o šumama potječu od tridesetih godina 19. stoljeća. Nadležnost nad državnim šumama prenesena je na regiju Sardinija osnivanjem Državnog šumarskog poduzeća regije Sardinija. Tijekom vremena provedeno je nekoliko reorganizacija. Posljednjim Zakonom o regionalnom šumarstvu iz 2016. godine stvorena je šumarska služba s dugačkim naslovom: **Regionalna šumarska agencija za razvoj teritorija i okoliša Sardinije** (talijanski L'Agenzia Forestale Regionale per lo Sviluppo del Territorio e dell'Ambiente della Sardegna (Fo.Re.STAS)). U praksi se koristi skraćeni naziv FoRe-STAS. Agencija ima sedam središnjih službi u Glavnom uredu u Cagliariu, sedam Teritorijalnih službi: Nuoro, Oristano, Sassari, Cagliari, Iglesias, Tempio i Lanusei, 116 šumarskih jedinica i 27 specijaliziranih operativnih jedinica (rasadnici, centri za životinje i parkirališta). FoReSTAS upravlja s oko 220 000 ha šuma u 28 šumskih kompleksa, od morske obale do planinskih područja u unutrašnjosti otoka. Kompleksi se sastoje od državnih šuma (37%), općinski šuma (40 %) i privatnih šuma



Grb Sardinije „Četiri Maura“

(23 %). Zakonske obaveze Agencije su gospodarenje šumama, upravljanje ekološkom mrežom Natura 2000 u šumskim područjima, održavanje ruralnih područja, civilna zaštita i zaštita od požara. Agencija je nadležna za mrežu svih staza (planinarskih, biciklističkih i jahaćih) na Sardiniji. U Agenciji je zaposleno oko 4 100 djelatnika.

Državni šumarski korpus (talijanski Corpo forestale dello Stato) bio je nacionalna policijska agencija u Italiji. Osnovan je 15. listopada 1822., a raspušten 31. prosinca 2016. godine. Zadržan je samo u pet talijanskih autonomnih regija: Sicilija, Sardinija, Dolina Aoste, Furlanija-Juljska krajina i Trentino-Južni Tirol. **Korpus za šumarstvo i zaštitu okoliša Sardinije** (talijanski Il Corpo forestale e di vigilanza ambientale della Regione Sardegna) je regionalna ekološka policija sa civilnim statusom, te sa specifičnom i ograničenom nadležnošću unutar regije Sardinije. Osnovan je regionalnim zakonom 1985. godine. Djeluje putem opće uprave, tri središnje službe, sedam teritorijalnih službi, 82 šumarske postaje i deset pomorskih baza, a zapošljava približno 1 100 djelatnika. Korpus je odgovoran za zaštitu šuma, voda i svih zaštićenih objekata prirode, kao i za zaštitu ugroženih vrsta flore i faune. Osim toga nadležan je za protupožarnu zaštitu, nadzire sve aktivnosti vezane uz lov i ribolov, surađuje s civilnom zaštitom na otoku te provodi edukaciju o okolišu. Korpus također obavlja svoje funkcije u područjima kojima upravlja Regionalna šumarska agencija za razvoj teritorija i okoliša Sardinije (Fo.Re.STAS) u dogovoru s nadležnim lokalnim uređima Agencije.

Drugi dan 8. svibnja protekao je u terenskom obilasku općinskih šuma Seneghe (zajedničko dobro – poput nekadašnjih zemljišnih zajednica u Hrvatskoj). U tim šumama gospodari se panjačama hrasta plutnjaka i hrasta crnike. Osim proizvodnje pluta i ogrjeva sve više pozornosti polaže se očuvanju bioraznolikosti. U panjačama crnike pokušava se unaprijediti obnova tih šuma. Općina Seneghe pokrenula je 2016. godine izradu plana za udruženo gospodarenje šumama. Do 2024. godine izrađen je i odobren desetogodišnji plan gospodarenja



U šumi hrasta plutnjaka općine Seneghe

šume Isterridorzu (1 330 ha), koja obuhvaća općinske šume (870 ha) i okolne privatne šume (460 ha). Planom su šume podijeljene prema cilju korištenja: šume namijenjene proizvodnji pluta, šume koje osiguravaju ogrjevno drvo, šume s pretežnom kulturnom i društvenom funkcijom te šume s prioritetnom ekološkom funkcijom. Općinska uprava je odgovorna za upravljanje općinskim šumama, ali pri njoj još nije osnovana šumarska služba odgovorna za gospodarenje. Šumarska škola Nuoro pruža podršku u gospodarenju ovim šumama. Privatni vlasnici sami odlučuju o gospodarenju u svojim šumama. Proizvodnja pluta od hrasta plutnjaka tradicionalni je način šumarstva na Sardiniji. Kora plutnjaka skida se sa stabla kada postigne debljinu od približno 20 cm. Početkom ljeta, kada se sloj pluta može lakše odvojiti od kambijalnog tkiva, skida se sloj kore od 2-3 cm. U jednoj berbi okvirno se dobije oko 2 tone pluta po hektaru. Pluto se skida jednom u dvanaest godina. Nakon 8 do 10 ciklusa skidanja pluta, vitalnost stabala se smanjuje. Proizvodnja pluta više nije ekonomski isplativa kada se dostigne promjer s korom od 60 cm. Takva se stabla postupno zamjenjuju. U cilju sprječavanja požara, sloj grmlja se svodi za održavanje na maksimalno 30 % pokrivenosti sastojine, a prednost se daje vrstama koje su manje osjetljive na gorenje. Projektom LIFE GoPro-ForMED nastoji se proizvesti visokokvalitetno pluto, ali i očuvati bioraznolikosti staništa plutnjakovih šuma.

Uz sve obroke tijekom susreta konzumirao se i tradicionalni sardinijski tanki hrskavi kruh – pane carasau. Kruh podsjeća na mlince, ali je suh i tanji. Potječe iz nekadašnjih vremena kada su pastiri izrađivali kruh koji dugo traje. Uz ovo još jedna zanimljivost je da iako smo proveli tri dana na otoku, more smo vidjeli samo iz aviona.

U popodnevnom dijelu obišlo se nekoliko stajališta panjače hrasta crnike različite dobi i obavljenih gospodarskih zahvata. Pokazan je izgled panjače prepuštene prirodi bez obavljene sječe, izgled panjače s pomlatkom nakon obavljenih oplodnih sječa u razmaku od 4 do 16 godina, izgled sastojine s konverzijom iz panjače u visoku šumu te izgled panjače pri kraju ophodnje. U



Sardinijski sir na tacni od pluta i tradicionalni sardinijski tanki hrskavi kruh



Na stajalištu u panjači hrasta crnike



Opplodna sječa u panjači hrasta crnike

razdoblju od 1980. do 2002. godine sječa je rađena svake dvije godine na ukupno 700 ha. Nakon toga čista sječa je ograničena na maksimalno 5 ha. Novim planom je predviđeno od 2004. do 2032. godine obaviti čistu sječu na ukupno 300 ha u 15 sječnih zahvata.

Dan je završio posjetom lokalitetu Nuraghe u Santa Cristini. Tamo se nalazi arheološko nalazište nuragijske civilizacije koja je postojala na Sardiniji tijekom brončanog doba od 1900. do 730. godine p. K. Nuragijska civilizacija jedna je od najprepoznatljivijih i najmisterioznijih drevnih kultura u Europi. Civilizacija je stvorila jedinstvene megalitske kamene tornjeve koji se ne nalaze nigdje drugdje u svijetu, poznate pod nazivom nuragi. Takvih građevina diljem otoka ima oko 7 000, a pretpostavlja se da ih je bilo više od 10 000. Do danas nije utvrđena točna funkcija tih građevina. Osim tornjeva građeni su i sveti bunari kao ritualna mjesta. Najpoznatiji i najbolje očuvani bunar nalazi se u Santa Kristini.

Trećeg dana 9. svibnja skup je nastavljen u regionalnoj šumi Montes na području općine Orgosolo kojom upravlja Regionalna šumarska agencija Sardinije, Teritorijalna služba Nuora. U tamošnjim panjačama hrasta crnike LIFE projektom GoProForMED želi se uravnotežiti očuvanje bioraznolikosti i proizvodnja kroz integrirano gospodarenje šumama, te održati kontinuiranost

pokrova u šumi. Šuma Montes s površinom od 4 700 ha nalazi se u planinskom lancu Supramonte smještenom u srednjeistočnom dijelu Sardinije. Oko 80 % površine prekriveno je listopadnim formacijama, uglavnom šumama hraste crnike (38 %) i grmljem. Crnogorične šume prostiru se na oko 6 %, a preostalih 14 % površine čine mješovite šume, područja s rijetkom vegetacijom, trajne livade i drugo zemljište. Za visoke šume hrasta crnike propisane su šumskouzgojne smjernice: gospodarenje visokim šumama s naturalističkim, krajobraznim i turističko-rekreacijskim namjenama. Ophodnja je postavljena na 100-120 godina. Uzgojna njega usmjerena je na 150-300 elitnih (ciljnih) stabala, koja se podupiru sječom konkurencije u razdoblju od 7 do 15 godina. Sječa se obavlja najviše na 25-30 % površine. Ciljani promjer za povećanje kvalitete proizvodnje postavljen je na 30 cm. Od 2010. godine zabranjena je sadnja crnogorice, jer se podržava autohtona bjelogorična vegetacija.

Projekt GoProForMED ovdje je uspostavio ekološke mreže unutar aktivno upravljanijih šumskih staništa namijenjenih proizvodnji drva. Cilj je stvoriti trajni okvir za očuvanje bioraznolikosti i podržavanje prirodnih ekoloških procesa koji održavaju vitalnost i funkcionalnost tih staništa. Ovaj integrirani pristup uravnotežuje više ciljeva gospodarenja šumama – posebno očuvanje i sprječavanje šumskih požara – uz usklađenost



Predstavljanje Regionalne šumarske agencije Forestas



Prezentacija u državnoj šumi Montes



S časnicama Korpusa za šumarstvo i zaštitu okoliša Sardinije

s produktivnim korištenjem. Ekološka mreža ugrađena je u šumsku matricu i sastoji se od tri elementa: središnja područja, otoci bioraznolikosti i stabla staništa. Predložene intervencije uključuju šumskouzgojne tretmane osmišljene kako bi se šumska struktura usmjerila prema nepravilnom, kontinuiranom sustavu pokrova, karakteriziranom koegzistencijom stabala različitih promjera i starosti. Primarni cilj ovih intervencija je promicanje zdravih, otpornih šumskih sastojina koje mogu podržati poboljšanu multifunkcionalnost i dugoročnu ekološku stabilnost.

Završni terenski obilazak bio je u staroj šumi hrasta crnike koja je ranije bila dosta izložena pašarenju, što



Predsjednik Pro Silve Croatie Stjepan Mikac i predsjednik Pro Silve Italije Pierangelo Miola

sada više nije tako intenzivno. I na Sardiniji tradicionalni način života sve više ustupa svoje mjesto modernizaciji i novim djelatnostima, posebice turizmu.

Predsjednik Pro Silve Croatie Stjepan Mikac zahvalio se darovima predsjedniku Pro Silve Tomášu Vrški, predsjedniku Pro Silve Italije Pierangelu Mioli i međunarodnoj predstavnici Pro Silve Italije Sereni Buscarini na odličnoj organizaciji ovogodišnjega skupa.

Sudionici skupa u više navrata imali su priliku poslušati izvorno klapsko pjevanje koje se njeguje na Sardiniji. U večernjim satima i sami su se družili uz gitare, klavir i flautu.



Zajednički snimak svih sudionika Pro Silve na Sardiniji

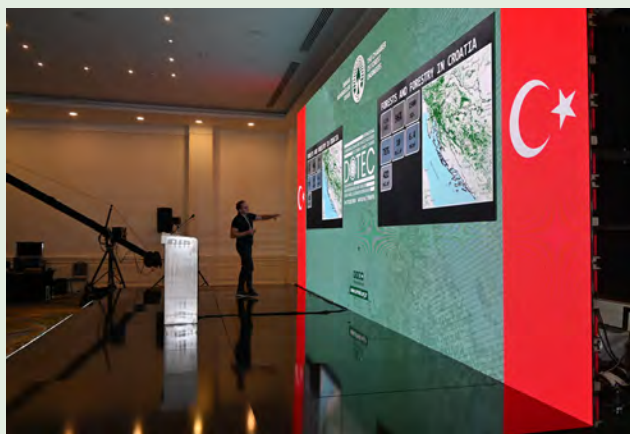
Ekskurzija Hrvatskoga šumarskog društva u Tursku

Oliver Vlainić¹

Prilikom susreta s kolegama iz Udruženja inženjera i tehničara šumarstva Federacije Bosne i Hercegovine (UŠIT FBiH) koji su se odvijali diljem Europe na šumarskim natjecanjima u nordijskom skijanju, ali i na šumarskim događanjima u Hrvatskoj i Bosni i Hercegovini, više puta smo čuli o njihovim odlascima na stručna putovanja u Tursku. Također smo se na šumarijadama Federacije Bosne i Hercegovine susretali sa šumarima iz Turske. Budući da je u posljednjih deset godina u Šumarskom listu objavljen velik broj znanstvenih članaka autora iz Turske, to je bio još jedan dodatni razlog za upoznavanje s tom državom i njenim šumarstvom. Otuda je i krenula ideja o organizaciji stručne ekskurzije za članove Upravnog i Nadzornog odbora HŠD-a u Tursku. Generalni tajnik UŠIT-a Azer Jamaković, dipl. ing. šum. iz Sarajeva, ljubazno se ponudio da će ostvarivati kontakte s turskim kolegama. Uspostava kontakta ispočetka baš i nije bila uspješna, pa je proteklo osam mjeseci od slanja prvih e-poruka do početka realizacije putovanja. U listopadu 2024. godine kolega Azer uključio je u priču o organizaciji turskog kolegu İsmaila Belena, dipl. ing. šum. koji radi kao glavni inspektor u Glavnoj direkciji za šumarstvo Turske, ali i kao savjetnik Komore šumarskih inženjera Turske. U svibnju 2024. godine izabran je i za predsjedavajućeg Ureda Forumu Ujedinjenih naroda o šumama (UNFF) za mandat 2024. – 2026. godine. Budući da je upravo bila u tijeku priprema za međunarodnu konferenciju o klimatskim promjenama u Turskoj, uslijedio je poziv za sudjelovanje na konferenciji koja bi se iskoristila i kao dogovor za organizaciju stručnog posjeta Turskoj. Poziv je prihvaćen te je hrvatska delegacija otputovala u Tursku. O samoj konferenciji sljedeći kraći opis. U okolini turskog grada Antalije od 25. do 27. studenoga 2024. održana je međunarodna konferencija pod nazivom „Rješenja temeljena na prirodi za borbu protiv klimatskih promjena”. Organizator konferencije bila je Komora šumar-

skih inženjera Turske. Voditelj konferencije bio je savjetnik za međunarodne odnose Komore İsmail Belen. Osim predstavnika više domaćih šumarskih institucija, na konferenciji su sudjelovali predstavnici Austrije, Azerbajdžana, Bosne i Hercegovine, Gruzije, Hrvatske, Kazahstana, Kirgizistana, Mađarske, Moldavije te Forest Europe-Ministarske konferencije o zaštiti šuma u Europi koja obuhvaća 45 europskih država potpisnica i EU te 14 zemalja promatrača i 48 organizacija. Hrvatsku delegaciju činili su tajnik HŠD-a Oliver Vlainić i predsjednik sekcije HŠD-a Pro Silva Croatia izv. prof. dr. sc. Stjepan Mikac, koji je i prezentirao hrvatsko izvješće o utjecaju klimatskih promjena na šume u Hrvatskoj. Osim prezentacija održan je i sastanak delegacija svih zemalja sudionica radi međusobnog upoznavanja. Posljednjeg dana konferencije strani predstavnici imali su prilike posjetiti šumsko područje u fazi sanacije nakon požara. Domaćini su pokazali dio opreme i način protupožarnog djelovanja. Glavna direkcija za šumarstvo pod Ministarstvom poljoprivrede i šumarstva koja brine o državnim šumama Turske, raspolaže s radnicima, terenskim vozilima, vatrogasnim vozilima, helikopterima, avionima i dronovima, sve u cilju što učinkovitije zaštite šuma od požara. Kao zahvalu domaćinima na pozivu i pruženoj mogućnosti sudjelovanja na međunarodnom skupu, uručili smo darove predsjedniku Komore šumarskih inženjera Turske Hasanu Türkyılmazu, kao i kolegi İsmailu Belenu. Komora šumarskih inženjera Turske osnovana je 1954. godine. Sjedište Komore je u Ankari, a ima 15 podružnica u Turskoj. Broji oko 19 tisuća šumarskih inženjera. Na čelu Komore je Upravni odbor od 7 članova s predsjednikom i podpredsjednikom. Komora je član Nacionalnoga koordinacijskog odbora za bioraznolikost Turske, Europske federacija nacionalnih inženjerskih udruženja – FEANI, Unije europskih šumara i Vijeća europskih šumara.

U pripremi putovanja u Tursku pomoć oko koordinacije



Prezentacija prof. Stjepana Mikca na međunarodnoj konferenciji u Antaliji



Stjepan Mikac i İsmail Belen

¹ Oliver Vlainić, dipl. ing. šum., Hrvatsko šumarsko društvo



Predsjednik Komore šumarskih inženjera Turske Hasan Türkyılmaz (četvrti s lijeva) sa suradnicima i delegacijama HŠD-a i UŠIT FBiH

s turističkom agencijom preuzeo je na sebe predsjednik Ogranka Sisak Goran Gobac, iskoristivši svoja iskustva s prethodnih putovanja. Nakon većeg broja e-poruka razmijenjenih s turskim kolegom İsmailom Belenom, naše želje i njihove mogućnosti za stručni dio putovanja su usklađene. Napravivši dvije izmjene, prilagodili smo termin putovanja državnim i vjerskim blagdanima u Republici Turskoj. Kolega izv. prof. dr. sc. Stjepan Mikac s Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije obavio je i online sastanak sa Šumarskim fakultetom Sveučilišta u Isparti, kako bi sve bilo spremno za dolazak naše grupe u vremenu od 7. do 14. travnja 2025.

Članovi Upravnog i Nadzornog odbora Hrvatskoga šumarskog društva, te zamjene onih članova koji nisu mogli putovati, krenuli su na put 7. travnja 2025. Ukupno 40 sudionika otputovalo je avionom iz Zagreba preko Istanbula za Antaliju gdje je bio početak, ali i završetak programa posjeta Turskoj 14. travnja 2025. Prije opisa ekskurzije uvodno nešto i o samoj državi Turskoj.

Turska je država koja se prostire na dva kontinenta, manjim dijelom u Europi (3 % ukupne površine) i većim dijelom u Aziji (97 % ukupne površine). Europski i azijski dio Turske dijeli Mramorno more, te tjesnaci Bospor i Dardaneli. Ukupna površina države je 785 347 km² (14 puta veća od Republike Hrvatske). Obuhvaća Malu Aziju i dijelove Armenije, Kurdistan i Tracije (europski dio). Okružena je četirima morima: Crnim, Mramornim, Egejskim i Sredozemnim morem. Danas ima 85 milijuna stanovnika, a prilikom prvog popisa stanovništva 1927. godine imala je 14 milijuna stanovnika. Većinu stanovnika čine Turci (procjena oko 80 % jer ne postoji etnički popis stanovnika), a od ostalih naroda najbrojniji su Kurdi (procjena 15 – 20 %). Turska je demokratska, sekularna, unitarna i ustavna republika. Nastala je poslije završetka Prvoga svjetskog rata nakon raspada Osmanskog Carstva, saveznice poraženih Centralnih sila na čelu s Njemačkom. Pripadnice pobjedničkog saveza sila Antante planirale su podijeliti dijelove zapadnog i istočnog područja nekadašnjeg Osmanskog Carstva. Turci su pod vodstvom Mustafe Kemal-paše pokrenuli rat protiv Armenije, Francuske, Italije te posebice Grčke, koji je trajao od 1919. do 1922. godine. Posljedice ratnih zbivanja bilo je mnogo, no najveća je bila stradanje stanovništva, ali na kraju i velika razmjena stanovništva između Grčke



Delegacije svih zemalja sudionika konferencije na terenskoj protupožarnoj demonstraciji

i Turske. Turskom pobjedom u ratu definirane su granice Turske koje su priznate 1923. godine. Od tada su pod vodstvom Mustafe Kemala prozvanog Atatürk (otac Turaka) provedene mnoge reforme u državi, sve u cilju modernizacije i stvaranja europski orijentirane države: provedena je agrarna reforma, ukinuti su sultanat i kalifat, preuzeti su zapadni pravni zakoni, žene su dobile pravo glasa, religija je odvojena od države, arapsko pismo zamijenjeno je latinicom, islamski kalendar zamijenjen je gregorijanskim, a uveden je i metrički sustav. Reforme su nastavljene i nakon Atatürkove smrti 1938. godine. Višestranačje je uvedeno 1946. godine. Zbog svoje gospodarske snage Turska od 1999. godine pripada skupini 20 industrijski najrazvijenijih zemalja svijeta (skupina G-20). Turska je zemljopisno podijeljena u sedam regija: Mramorna regija, Egejska regija, Crnomorska regija, Središnja Anatolija, Sredozemna regija, Istočna Anatolija i Jugoistočna Anatolija. Regije se znatno razlikuju po vegetaciji i klimatskim uvjetima. Administrativno država je podijeljena na 81 pokrajinu.

Prilikom dolaska u Antaliju sudionici ekskurzije bili su fascinirani pogledom iz aviona na prevladavajuću bijelu boju, tj. nepregledne površine pod plastenicima u kojima se uzgaja voće i povrće. Ta velika poljoprivredna proizvodnja najviše se plasira u gradu Antaliji i okolici, najvećem morskom odmaralištu Turske, gdje na tzv. Turskoj rivijeri ima oko 4 000 hotela, a dobar dio su luksuzni hoteli s pet zvjezdica. Godišnje u Antaliju dolazi oko 12 milijuna turista.

Svi sudionici ekskurzije primljeni su 8. travnja u upravnoj zgradi Regionalne direkcije šuma Antalija, jednoj od 30 regionalnih direkcija s površinom šuma i šumskih zemljišta od 1,2 milijuna ha, što je čini četvrtom direkcijom šuma po veličini u Turskoj. Direkcija u Antaliji postoji od 1951. godine. Sastoji se od 14 uprava šuma sa 120 šumarija. Dio sudionika sastavljen od predstavnika Hrvatskoga šumarskog društva, Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije, Hrvatskoga šumarskog instituta, Hrvatske komore inženjera šumarstva i drvne tehnologije, Hrvatskih šuma d. o. o. i Državnog inspektorata bio je ugošćen kod regionalnog direktora Kemala Kayırana u njegovom uredu. Nakon dobivenih informacija o organizaciji i djelovanju šumarstva u Turskoj, s posebnim naglaskom na regionalnu direkciju u Antaliji, dopredsjednica HŠD-a Mandica Dasović zahvalila



Zajednička fotografija sudionika ekskurzije s domaćinima ispred upravne zgrade Regionalne direkcije šuma Antalija

se na prijemu i razmijenila darove s direktorom Kemalom Kayıranom. Potom su svi sudionici putovanja odgledali promotivni video o regionalnoj direkciji, u kojemu je bilo vidljivo kako je protupožarna djelatnost najvažniji segment šumarstva u tom području. Direktor je u svom govoru izrazio zadovoljstvo ugošćavanjem hrvatske šumarske delegacije. Sljedeća postaja obilaska bio je Međunarodni šumarski obrazovni centar Antalija. Glavna aktivnost centra je protupožarna obuka. Sudionike je pozdravila direktorica centra Dilek Uravaş i pozvala na razgledavanje centra. Kroz kraću prezentaciju centra i simulacijski prikaz obuke, sudionici posjeta upoznali su način obuke. Prije odlaska tajnik HŠD-a Oliver Vlanić zahvalio se uz prigodni dar direktorici centra Dilek Uravaş. Nastavak stručnog programa

bio je u Upravi šuma Taşağıl, gdje je dobrodošlicu poželio upravitelj İlker Öztürk. Uprava šuma Taşağıl jedna je od 14 uprava unutar Regionalne direkcije šuma Antalija. Ima 11 šumarija u kojima gospodari šumama i šumskim zemljištem na 148 tisuća ha. Susret je protekao u kraćem međusobnom upoznavanju u zgradi uprave, obilasku šumskih površina zahvaćenih požarima 2008. i 2021. godine, koji je danas obuhvaćen projektom obnove opožarenih područja i podizanja šuma sastavljenih od drvenastih vrsta otpornijih na požare te na kraju Nacionalnom parku kanjona Köprülü u planini Taurus kroz koji prolazi i Put svetog Pavla. Tajnik HŠD-a Oliver Vlanić darovima se zahvalio domaćinima na njihovom gostoprimstvu.

Prema viđenom i doživljenom toga dana, dojam je kako je



Direktor Regionalne direkcije šuma Antalija Kemal Kayıran i dopredsjednica HŠD-a Mandica Dasović prilikom razmjene darova



Tajnik HŠD-a Oliver Vlanić zahvaljuje direktorici Međunarodnoga šumarskog obrazovnog centra Dilek Uravaş



Prezentacija prof. Stephena Woodwarda o Sveučilištu primijenjenih znanosti i Šumarskom fakultetu Isparta

šumarstvo u Turskoj jako dobro organizirano. Uprava za šume ima dugu tradiciju, jer je osnovana još 1839. godine u sklopu reformi unutar Osmanskog Carstva. Većina šuma je u državnom vlasništvu (99 %) što je posljedica nacionalizacije šuma iz 1938. godine. Šumama upravlja Ministarstvo poljoprivrede i šumarstva preko Glavne direkcije za šumarstvo (OGM) čije je sjedište u Ankari. Na nižim razinama postoji 30 regionalnih direkcija za šumarstvo s 282 uprave šuma i 2 156 šumarija te 12 šumarskih istraživačkih instituta. U Turskoj se pod šumama nalazi 23,4 milijuna ha, što je 30 % površine države. Od toga je oko 9,7 milijuna ha

degradiranih šuma. Oko 12,5 milijuna ha šuma nalazi se u području veće ugroženosti od požara. Šume u zaštićenim područjima na 3,6 milijuna ha čine 15 % svih šuma. U 1973. godini pod šumama je bilo 20,2 milijuna ha, što znači da je u pola stoljeća površina pod šumama povećana za 3,2 milijuna ha. Drvna zaliha iznosi 1,7 milijardi m³, a godišnji prirast 47 milijuna m³. Prevladavajuće vrste drveća su hrastovi (*Quercus* spp. 29 %), brucijski bor (*Pinus brutia* 23 %), crni bor (*Pinus nigra* 18 %), kavkaska bukva (*Fagus orientalis* 8 %), obični bor (*Pinus silvestris* 6 %), šmrike (*Juniperus* spp. 6 %), jele (*Abies* spp. 2%), kavkaska smreka (*Picea orientalis* 2 %) i libanonski cedar (*Cedrus libani* 2 %).

Stručni dio programa nastavljen je 9. travnja posjetom Šumarskom fakultetu Sveučilišta primijenjenih znanosti u Isparti (ISUBU). Sveučilište primijenjenih znanosti Isparta jako je mlado sveučilište osnovano 2018. godine. Nastalo je izdvajanjem iz Sveučilišta Süleyman Demirel Isparta sljedećih pet fakulteta: Poljoprivrednog fakulteta, Šumarskog fakulteta, Tehnološkog fakulteta, Fakulteta ribarstva i Fakulteta menadžmenta. Pri Sveučilištu primijenjenih znanosti osim tih fakulteta danas djeluju i Fakultet primijenjenih znanosti, Fakultet za turizam, Institut za poslijediplomsko obrazovanje, Škola stranih jezika, devet istraživačkih centara i 17 strukovnih škola. Na sveučilištu studira oko 25 tisuća studenata. Sveučilište ostvaruje suradnju s gotovo 50 sveučilišta diljem svijeta. Šumarski fakultet



Zajednička fotografija svih sudionika ispred zgrade Šumarskog fakulteta u Isparti



Prodekan Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije u Zagrebu prof. dr. sc. Dinko Vusić i prorektor Sveučilišta u Isparti prof. dr. sc. Ramazan Özçelik s potpisanim Memorandumom o suradnji



Tajnik HŠD-a Oliver Vlanić i dekan Šumarskog fakulteta prof. dr. sc. Hasan Alkan s potpisanim Memorandumom o suradnji

jedan je od 12 fakulteta osnovanih na Sveučilištu Süleyman Demirel 1992. godine. S nastavom je započeo tek u akademskoj godini 1995./1996. godine. Sastojao se od tri odjela: za šumarsko inženjerstvo, za šumarsko industrijsko inženjerstvo i za krajobraznu arhitekturu. Od 2010. godine osnovan je odjel Ekologija i upravljanje divljim životinjama. Fakultet danas nudi obrazovanje na preddiplomskim, magistrskim i doktorskim studijima na odjelima Šumarsko inženjerstvo, Inženjerstvo šumskih proizvoda (studij drvne tehnologije) te Ekologija i upravljanje divljim životinjama, ali i večernje srednjoškolsko obrazovanje. Broj studenata iz 2018. godine s 502 smanjio se do 2024. godine na 354. Od osnutka fakulteta na preddiplomskom studiju studiralo je 2 099 studenata. Diploma prvostupnika znanosti s nazivom šumarski inženjer stječe se nakon 4 godine (7 semestara) obrazovanja sa 65 kolegija (240 ECTS bodova), ali i obavljenoga pripravničkog staža (1 semestar) i obranjenoga diplomskog rada. Preddiplomski obrazovni sustav 7+1 pokazao se koristan u poboljšanju zapošljivosti i stečenih

praktičnih vještina za potrebe tržišta rada Turske.

U vrlo svečanoj atmosferi sudionike posjeta Sveučilištu pozdravili su koordinatrica za Erasmus doc. dr. sc. Esra Bayar, dekan Šumarskog fakulteta prof. dr. sc. Hasan Alkan i prorektor Sveučilišta prof. dr. sc. Ramazan Özçelik, također sa Šumarskog fakulteta Isparta. Nakon uvodnoga promotivnog filma o sveučilištu, prezentaciju o gradu Isparti (gradu ruža i jezera), Šumarskom fakultetu Isparta te Erasmus Mundus programu održao je prof. dr. sc. Stephen Woodward. U ime gostiju prezentaciju o Hrvatskom šumarskom društvu i Fakultetu šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu iznio je izv. prof. dr. sc. Dinko Vusić. Nakon izlaganja potpisani su memorandum o međusobnoj suradnji Šumarskog fakulteta Isparta i Hrvatskoga šumarskog društva te Sveučilišta primijenjenih znanosti u Isparti i Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu. Završni dio posjeta bilo je upoznavanje s laboratorijima i zbirkama fakulteta. Domaćinima su se darovima zahvalili prodekan Fakulteta šumarstva i drvne



U Nacionalnom parku kanjona Köprülü



Ispred Celsiusove knjižnice u antičkom gradu Efezu

tehnologije u Zagrebu izv. prof. dr. sc. Dinko Vusić i tajnik HŠD-a Oliver Vlanić.

Organizaciju i koordinaciju cijelog stručnog putovanja svojim velikim angažmanom pripremio je İsmail Belen, koji iako nije mogao biti nazočan na mjestima susreta, pomagao je svojim uputama izdaleka realizaciju programa. Organizacija je ostvarena u partnerstvu s Glavnom direkcijom za šumarstvo, Komorom inženjera šumarstva Turske i Šumarskim fakultetom Isparta. Posjet članova HŠD-a objavljen je na mrežnim i društvenim stranicama Regionalne direkcije šuma Antalija i Šumarskog fakulteta u Isparti.

U preostalim danima putovanja posjećene su brojne povijesne, kulturne i prirodne znamenitosti Turske: stari grad Hierapolis iznad vapnenačkih terasa Pamukkalea, rijeka Dalyan koja završava utokom na granici Egejskog i Sredozemnog mora s četiri km dugačkom pješčanom plažom İztuzu – mjestu gniježđenja kornjača glavatih želvi, antički grad Efez s ostacima jednog od sedam svjetskih čuda

– hrama posvećenog grčkoj boginji Artemidi, a danas jedno od najvećih arheoloških nalazišta na svijetu, potopljeni grad Kekova, kuća Djevice Marije, crkva Svetog Nikole, kamene grobnice u Miri te grad Antalija s Hadrijanovim vratima i vodopadom Karpuzkaldıran. Posebno izazovan bio je let balonom iznad Pamukkalea za koji se odlučilo manje od polovice sudionika. Let, s izlaskom sunca i pogledom na bijele sedrene terase, sretno je protekao uz tek nešto

duže spuštanje na zemlju i izlazak iz balona što je stvorilo dodatnu povezanost unutar grupe „balonaša”.

Vrijedno je spomenuti i neke zanimljivosti iz priča vodiča Harisa: Na područje današnje države Turci su se doselili iz srednje Azije. Prvo su vladali Turci Seldžuci, a nakon njih Turci Osmanlije koji su stvorili veliko Osmansko Carstvo sa svojim vrhuncem u 17. stoljeću, prostirući se od Perzijskog zaljeva na istoku do Mađarske na zapadu te od Egipta na jugu do Kavkaza na sjeveru. Izvorna turska vjera bio je šamanizam, a kasnije su prešli na islam tako da su danas velikom većinom Turci sunitiski muslimani. Polumjesec u grbu Turske u biti predstavlja pomrčinu sunca od strane mjeseca. Strane svijeta u turskom jeziku nekad su se označavale bojama: crna boja-sjever, crvena boja-jug, bijela boja-zapad i plava boja-istok. Riječ Merhaba znači više od pozdrava u smislu: Dobro došao. Ja sam ti prijatelj. Time Turci žele izraziti svoju dobrodošlicu i sve učiniti kako bi se gost dobro osjećao.



Na plaži İztuzu

PETAR PREBJEŽIĆ (1924. - 2025.)

Stjepan Mikac¹

Dana 7. lipnja 2025. godine zauvijek nas je napustio naš cijenjeni kolega Petar Prebježić, dipl. ing. šumarstva, dugogodišnji suradnik Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu i jedan od najprepoznatljivijih stručnjaka hrvatskog šumarstva, koji je svojim radom, predanošću i osobnošću obilježio više od četiri desetljeća šumarske struke.

Petar Prebježić rođen je 29. siječnja 1924. u Plavšincu kod Koprivnice, u obrtničkoj obitelji Andrije i Eme rođ. Kremer. Hrvat i rimokatolik, osnovnu školu završio je u Zagrebu 1935. godine, a II. mušku realnu gimnaziju 1943. godine. Odmah nakon velike mature zaposlio se u Ministarstvu domobranstva, gdje je od 1944. kao domobran-đak ostao do kraja Drugog svjetskog rata.

Studij šumarstva započeo je školske godine 1943./44. na tadašnjem Poljoprivredno-šumarskom fakultetu u Zagrebu, Šumarski odsjek, ali ga je u proljeće 1947. morao prekinuti. Već 1946. radio je kao student-praktikant u Taksaciji Ministarstva šumarstva NR Hrvatske, gdje je nakon prekida studija primljen u stalni radni odnos.

Na upravo osnovan Poljoprivredno-šumarski fakultet prelazi 1950. godine, a od 1952. radi na Katedri za uzgajanje šuma na mjestu tehničkoga suradnika. Sedamdesetih godina nastavlja prekinuti studij i 26. lipnja 1978. diplomira na Šumarsko-gospodarskom odjelu, kada je promaknut u zvanje stručnog suradnika u znanstveno-istraživačkom radu. Po osnutku Kabineta za terensku nastavu 1984. raspoređen je na mjesto voditelja terenske nastave studenata Šumarskog odjela, gdje ostaje do umirovljenja 1988. godine.

U Taksaciji Ministarstva šumarstva radio je na kartiranju šuma u više gospodarskih jedinica radi sastavljanja osnova za inventarizaciju šuma u tadašnjoj SR Hrvatskoj. U Šumskom gospodarstvu, uz stručne tehničke poslove vezane uz šumarije u Zalesini i Lipovljanima, sudjelovao je i na inventarizaciji šuma na području Šumarije Zalesina.

Najveći dio radnog vijeka proveo je na Katedri za uzgajanje šuma, sudjelujući u brojnim stručnim i znanstveno-istraživačkim projektima iz područja uzgajanja, ekologije i uređivanja šuma, s naglaskom na dendrometrijske analize strukturnih odnosa u sastojinama. Posebno plodnu i dugogodišnju suradnju ostvario je s prof. dr. sc. Ivanom Dekanićem, a radio je i s akademikom Milanom



Anićem, prof. dr. sc. Branimirom Prpićem i prof. dr. sc. Slavkom Matićem, kao i brojnim drugim znanstvenicima tadašnjeg Šumarskog fakulteta.

Posebno vrijedan doprinos njegovoga rada vezan je uz istraživanja u primarnoj prašumi Čorkova uvala u Nacionalnom parku Plitvička jezera. Od 1957. godine, s iznimnom pedantnošću i bez pomoći suvremenih instrumenata sudjelovao je na uspostavi prvog marteloskopa u Hrvatskoj, odnosno trajne pokusne plohe u prašumi Čorkova uvala. Zajedno s akademikom Milanom Anićem postavio je istraživačku plohu koju su desetljećima pratili mnogi znanstvenici, čime je dao jedinstven doprinos razumijevanju strukture netaknutih prirodnih šumskih ekosustava. Akademik Igor Anić istaknuo je da je taj rad od iznimnog značaja za hrvatsku šumarsku znanost, jer i danas nakon gotovo 70 godina trajna pokusna ploha predstavlja trajan spomenik njegovome radu. Uz sve to sudjelovao je i u brojnim istraživanjima i znanstveno-istraživačkim projektima poput: **Utjecaja podzemne vode na uspijevanje šumskog drveća** (1962., 1967., 1975.), **Intenziviranje proizvodnje prorjeđivanjem mješovitih sastojina** (1962., 1967., 1970., 1971., 1971., 1972.), **Podzemna voda i tlo kao faktori uspijevanja euroameričkih topola i bijele vrbe** (1969., 1972., 1980.) i **Djelovanje fertilizacije različitim mineralnim gnojivima na proizvodnju drva u šumi hrasta kitnjaka i običnog graba** (1976., 1978., 1983.). I nakon umirovljenja ostao je vezan uz fakultet i kolege. U siječnju 2024., na svečanoj proslavi njegovog 100. rođendana u vijećnici Šumarskog fakulteta, uz tortu u obliku panja i mnoštvo kolega, prijatelja i obitelji, potvrdio je svoju životnu filozofiju: raditi ono što voliš, provoditi vrijeme u prirodi i njegovati druženja.

Kolege će ga pamtiti kao predanog, temeljitog i skromnog stručnjaka, velikog zaljubljenika u šumu, nesebičnog suradnika i dragog prijatelja. Obitelji izražavamo iskrenu sućut, a Petru zahvaljujemo na svemu što je dao hrvatskome šumarstvu.

¹ Stjepan Mikac, Sveučilište u Zagrebu Fakultet šumarstva i drvne tehnologije

MIRKO MILADINOVIĆ (1941. - 2025.)

Dorica Matešić¹



Na groblju Jamadol u Karlovcu, 9. lipnja 2025. godine oprostili smo se zauvijek od kolege šumara Mirka Miladinovića. Rođen je 5. listopada 1941. u poljodjelskoj obitelji u malom mjestu Koritna pokraj Đakova. Niže razrede osnovne škole polazio je u Koritni, a više u Semeljcima. Srednju Šumarsku školu pohađao je u Karlovcu, nakon koje svoje šumarsko obrazovanje nastavlja na Šumarskom fakultetu Sveučilište u Zagrebu, gdje je diplomirao 1966. godine na području šumskih komunikacija.

Nakon završenog fakulteta 1966. godine zapošljava se u Šumskom gospodarstvu u Karlovcu u Šumariji Krašić kao inženjer pripravnika na Žumberačkoj gori. Poslije dvije godine pripravnčkog staža radi kao poslovođa na iskorištavanju šuma (1968. do 1973.), a od 1974. do 1979. kao upravitelj Šumarije Krašić i direktor OOUR-a Šumarstva Krašić.

U Privrednoj komori Karlovac obnaša dužnost tajnika grupacijskog vijeća šumarstva i drvne industrije (1979. do 1983.). Od 1983. do 1991. radi kao direktor OOUR-a Impregnacija u Mahičnu. U razdoblju od 1975. do 1990. godine rukovodio je Sektorom za šumarstvo i drvnu industriju u sjedištu Zajednica općine Karlovac. Formiranjem Uprave šuma Karlovac, u sklopu javnog poduzeća Hrvatske šume, 1991. godine vratio se u UŠ Karlovac gdje je radio kao v. d. rukovoditelja odjela, komercijalist prodaje i nabave, a pred mirovinu na mjestu savjetnika u Komercijalnom odjelu.

Za doprinos razvoju šumarstva dobio je više priznanja i nagrada u općini Jastrebarsko.

Kao sudionik Domovinskog rata primio je spomenicu. Svo vrijeme bio je aktivan član Hrvatskoga šumarskog društva u Karlovcu. Od ostalih aktivnosti ističemo njegov angažman kao predsjednika karlovačke Udruge antifašističkih boraca u kojoj je proglašen i počasnim predsjednikom.

Nakon umirovljenja 2006. godine ostao je u kontaktu s kolegicama i kolegama s kojima je radio, te ih je često razveseljavao svojim pričama o obitelji i vrtu u Krašiću. Slavonac u duši, uvijek je rado spominjao svoj rodni kraj iz kojega je potekao. Mirka ćemo pamtiti kao uvijek nasmijanog, spremnog za razgovor i toplu riječ. Uvijek je rado spominjao svoju suprugu Ljubicu s kojom je bio u sretnom braku do zadnjeg dana svoga života. Nadasve je bio ponosan na svoju obitelj, kćer i sina o kojima je rado govorio. Kao brižan djed posebnu ljubav gajio je prema unucima. Pamtit ćemo ga kao kolegu uvijek vedra duha i nevjerojatne energije te nadasve toploga ljudskog odnosa. Niti u mirovini nije posustajao, uvijek je bio prisutan na događanjima vezanima uz šumarstvo. Falit će susreti s Mirkom i na nedjeljnoj misi na koju je redovno išao. Na posljednjem ispraćaju oprostili su se od Mirka uz obitelj i mnogi njegovi kolege, prijatelji i suradnici.

Dragi naš Mirko, hvala ti za sva dobra koja si učinio tijekom svoga života, nama tvojim kolegama s kojima si radio, kao i za doprinos koji si dao svojim znanjem i radom u šumarskoj struci koju si volio. Bila nam je čast poznavati te.

¹ Dorica Matešić, Hrvatsko šumarsko društvo ogranak Karlovac

DUBRAVKO HODAK (1967. - 2025.)

Krešimir Žagar¹



Dragi naš Dubravko,

nije ovako trebalo biti. Trebao si još uživati u godinama rada, u svemu što si stekao i stvorio, gledajući oko sebe učinke svoga životnog djelovanja. Gdje god si kročio Lijepom našom nije bilo kolege koji nije osjetio tvoje iskustvo, tvoju stručnost i sigurnost. Sve probleme prihvaćao si kao izazove i rješavao ih nevjerojatnom lakoćom. I svima nam je bilo tako lako raditi s tobom.

A sve je krenulo još davne 1967. godine tvojim rođenjem 19. kolovoza u Ogulinu, od majke Sofije i oca Marka. Naknadno se vašoj maloj obitelji pridružio i mlađi brat Jadranko. Osnovnu školu pohađao si u Plaškom, gdje si započeo i svoje srednjoškolsko obrazovanje. Srednju školu matematičko-informatičkog smjera završio si u Ogulinu, a ljubav prema prirodi odvela te na Šumarski fakultet u Zagrebu, gdje si diplomirao 19. listopada 1993. i postao diplomirani inženjer šumarstva. U živom su mi sjećanju naši studentski dani koje si nam uljepšavao i olakšavao svojim vedrim duhom i neposrednim pristupom svojim kolegama studentima, ali i našim asistentima i profesorima. Odmah nakon što si diplomirao počinješ raditi kao pripravnik u Odjelu za uređivanje šuma u Upravi šuma Ogulin, skupljajući dragocjeno šumarsko iskustvo, a nakon pripravničkog staža postaješ taksator i sa svojim kolegama u uređivanju kreiraš gospodarenje i određuješ budućnost ogulinskih šuma. Dana 1. 11. 1995. godine spremno preuzimaš iznimnu odgovornost i postaješ upravitelj šumarije Saborsko, i u izazovnim i teškim poslijeratnim uvjetima uspješno organiziraš i uspostavljaš normalno gospodarenje na svojoj šumariji. Od 1. lipnja 1998. godine preuzimaš i dodatnu obvezu i upravljaš i šumarijom Plaški. Vrlo brzo prepoznate su tvoje organizacijske sposobnosti, kao i sposobnost rješavanja izazova koje donosi svakodnevna briga o šumama i 1. veljače 2002. godine postaješ rukovoditelj Proizvodnog odjela u Upravi šuma Ogulin ili bolje rečeno tehnički direktor ogulinske uprave. Na tom radnom mjestu proveo si nevjerojatne 22 godine i jedan si od najdugovječnijih šefova proizvodnje u Hrvatskim šumama.

Pri tom si dugih 12 godina bio i predsjednik ogulinskog ogranka Hrvatskog šumarskog društva, a kruna karijere bila ti je mjesto višeg stručnog suradnika za razvoj, u Sektoru za šumarstvo u Direkciji Hrvatskih šuma, mjesto na koje si došao upravo na svoju 30-tu godišnjicu rada u Hrvatskim šumama 1. 11. 2023. godine i s kojega si nažalost otišao u vječnost. Uz sve stručne brige i odgovornosti iskazao si i ljubav prema domovini kao sudionik Domovinskog rata tijekom 1994. i 1995. godine.

A tvoj ponos i radost oduvijek je bila tvoja kći Klara.

Na životnome putu uvijek te krasila ljubav prema šumi, iznimna stručnost i znanje koju si nesebično dijelio, poštovanje prema prirodi, ali posebno je naglašena bila tvoja neposrednost, vedrina, sklonost šali. I u najtežim trenucima svakoga si znao i mogao oraspoložiti. I ništa ti nije bilo teško...satima se voziti da bi pomogao riješiti probleme i u najudaljenijim šumarijama, pregaziti kilometre šuma, sjediti satima na sastancima iznalazeći neka nova rješenja...a često sve to u istome danu.

Zadnjih godina zdravlje ti je bilo ozbiljno narušeno, no samo tvoji najbliži i kolege oko tebe znali su s kakvim se bolovima i strahovima nosiš. Uspješno si to čuvao u sebi, jer posao ti je bio važniji i od tebe samoga.

I zadnjih mjeseci, kada je bolest već skršila tvoje tijelo, ali ne i duh, pričao si o poslu, završavao započete i planirao nove zadatke, radovao se novim tehnologijama, savjetovao i predlagao kao i uvijek...a zapravo si to činio zadnjim atomima snage.

Ugasio si se okružen svojim najmilijima, ostavljajući neizbrisiv trag u ogulinskom i hrvatskom šumarstvu, ali i ogromnu prazninu u našem životu.

Dragi Dubravko, ne mogu ti izreći koliko ljubavi i poštovanja su ti iskazali svi koji su te poznavali, iskazuju ti to i svojim dolaskom ovdje, toliko nevjerice i tuge je izazvao tvoj odlazak.

Duboko suosjećam s tvojima najdražima, tvojom majkom Sofijom, tvojom kćeri Klarom, tvojom životnom suputnicom Sanjom i Vjenceslavom, tvojim bratom Jadrankom i svom tvojom rodbinom i prijateljima. Suosjećam i sa svim svojim kolegicama i kolegama, vjerujem da osjećamo istu tugu i bol.

Ovo nikako nije oproštaj od tebe, samo kratki rastanak... jednom ćemo i mi zajedno s tobom kročiti nebeskim šumama i opet se smijati tvojim šalama.

A do tada, dragi prijatelju, neka ti je laka i topla ova ogulinska hrvatska gruda!

¹ Krešimir Žagar, Hrvatske šume, Direkcija

OBJAVLJIVANJE ČLANAKA U ŠUMARSKOM LISTU

Šumarski list je međunarodni, recenzirani, dvomjesečni, tiskani i elektronički časopis u dijamantnom otvorenom pristupu, koji neprekidno izlazi od 1877. godine. Časopis Šumarski list objavljuje članke iz područja šumarstva, urbanog šumarstva i zaštite prirode, s geografskim naglaskom na Europu i Mediteran. Časopis prima rukopise u sljedećim kategorijama: izvorni znanstveni radovi, pregledni članci, prethodna priopćenja, kratka priopćenja, stručni radovi, recenzije knjiga, društvene vijesti i najave.

Časopis slijedi smjernice za kodeks ponašanja koje preporučuje Committee on Publication Ethics (COPE). Predajom rukopisa podrazumijeva se da isti nije prethodno predan na objavljivanje ili objavljen te da su objavljivanje odobrili svi suautori i ovlaštene osobe ustanove u kojoj je istraživanje provedeno. Za predane rukopise bit će provjereno plagiranje i samoplajiranje. Znanstveni i stručni radovi podliježu temeljitoj recenziji najmanje dvaju recenzenata. Izbor recenzenata i odluku o klasifikaciji i prihvatanju članka (prema preporukama recenzenata) donosi Urednički odbor. Svi prihvaćeni članci bit će lektorirani. Urednici će od autora zahtijevati da tekst prilagode preporukama recenzenata i lektora te zadržavaju i pravo da predlože skraćivanje ili poboljšanje teksta. Autori su potpuno odgovorni za sadržaj svojih članaka. Podrazumijeva se da je autor pribavio dozvolu za objavljivanje dijelova teksta koji su već negdje objavljeni te da objavljivanje članka ne ugrožava prava pojedinca ili pravne osobe. Radovi moraju biti rezultat stvarnih znanstvenih ili tehničkih postignuća.

Novi brojevi, kao i arhiva svih brojeva Šumarskog lista, u cijelosti su dostupni na web stranici <https://www.sumari.hr/sumlist>. Cjelokupni sadržaj Šumarskog lista dostupan je za skidanje s interneta, tiskanje, daljnju distribuciju, čitanje i ponovno korištenje bez ograničenja sve dok se naznače autor(i) i originalni izvor prema Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY). Autor(i) zadržavaju autorska prava bez ograničenja.

Znanstveni i stručni radovi moraju biti sažeti i precizni. Osnovna poglavlja trebaju biti označena odgovarajućim podnaslovima. Napomene (fusnote) nisu prihvatljive, već sve informacije treba uklopiti u tekst. Nazive rodova, vrsta i nižih taksonomskih jedinica treba pisati kosim slovima (kurziv). Nomenklatura taksonomskih i sintaksonomskih jedinica mora biti u skladu s međunarodnim pravilima (kodeksima). U Uvodu treba definirati problem, jasno navesti ciljeve članka i njegovu povezanost s drugim radovima na istu temu. Materijal i metode trebaju biti što preciznije opisane da drugim znanstvenicima omoguće ponavljanje istraživanja. Rezultati trebaju obuhvatiti samo materijal relevantan za predmetno istraživanje. Rasprava treba objasniti rezultate s obzirom na problem postavljen u Uvodu i u odnosu prema odgovarajućim zapažanjima autora ili drugih istraživača. Pri tome treba izbjegavati ponavljanje podataka već iznesenih u poglavlju Rezultati. Mogu se navesti naznake za daljnja istraživanja ili primjenu. Ako autori žele, rasprava i zaključci mogu biti spojeni u jedno poglavlje. Zahvale se navode na kraju rukopisa, prije popisa literature.

Broj slika i tablica treba biti ograničen samo na one koje su prijeko potrebne za objašnjenje teksta. Isti podaci ne smiju biti navedeni i u tablici i na slici. Slike i tablice trebaju biti zasebno obrojčane, arapskim brojkama, a u tekstu se na njih upućuje jasnim naznakama (Tablica 1, Slika 1). Sve tablice i slike trebaju biti umetnute u tekst u izvornom formatu. Tablice i slike trebaju sadržavati sve informacije potrebne za njihovo razumijevanje, bez korištenja teksta (autori trebaju osigurati dovoljno informacija u naslovima tablica i potpisima slika te objasniti sve kratice). Slike trebaju biti rezolucije 300 dpi, u JPG, PGN ili TIFF formatu. Objavljivanje tablica i slika u boji se ne naplaćuje.

Rad će prije tiska biti poslan dopisnom autoru u PDF formatu. Rad je potrebno pažljivo pročitati, ispraviti te vratiti s popisom ispravaka.

Dodatne informacije o načinu pisanja znanstvenih radova mogu se naći na web-adresi: www.ease.org.uk/publications/author-guidelines

PUBLISHING ARTICLES IN ŠUMARSKI LIST

In print continuously since 1877, the journal Šumarski list is a diamond open access, peer-reviewed, international, bimonthly, print and online journal. Šumarski list publishes articles in the fields of forestry, urban forestry and nature protection, with a geographic focus on Europe and the Mediterranean. The journal welcomes manuscripts for publication in the following categories: original scientific papers, review articles, preliminary communications, short communications, professional papers, book reviews, social news and announcements.

The journal follows the guidelines for code of conduct recommended by Committee on Publication Ethics (COPE). Submission of a manuscript implies that it has not been submitted for publication elsewhere or published before and that the publication is approved by all co-authors and by the authorities of the institution where the research has been carried out. Submitted manuscripts will be checked for plagiarism and self-plagiarism.

The scientific and professional papers will be subject to a thorough review by at least two selected reviewers. The Editorial Board shall make the choice of reviewers, as well as the decision about the classification of the paper and its acceptance (based on the reviewers' recommendations). All accepted papers are subject to proofreading. The editors will require authors to modify the text in the light of the recommendations made by the reviewers and lector, and they reserve the right to suggest abbreviations and text improvements. Authors are fully responsible for the content of their contributions. It shall be assumed that the author has obtained the permission for the reproduction of portions of text published elsewhere, and that the publication of the paper in question does not infringe upon any individual or corporate rights. Papers shall report on true scientific or technical achievements.

Current issues and archive of Šumarski list is entirely and freely available online on <https://www.sumari.hr/sumlist>, permitting any users to download, print, further distribute, read and reuse it with no limits provided that the author(s) and the original source are identified in accordance with the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY). The authors retain their copyrights.

Scientific and professional papers shall be precise and concise. The main chapters should be characterized by appropriate headings. Footnotes should not be used, information should be integrated into the text. Italicize only the names of genera, species and lower taxonomic units. The nomenclature of taxa and syntaxa has to be in strict accordance with international rules (codes). Introduction should define the problem, clearly state the aims of the article and its relation to other papers on the same subject. Materials and methods should be as precise as possible to enable other scientists to repeat the research. Results should involve only material pertinent to the subject. Discussion should interpret the results relating to the problem outlined in Introduction and to related observations by the author(s) or other researchers. Repeating the data already presented in the Results chapter should be avoided. Implications for further studies or application may be discussed. Discussion and conclusion may, if desired by authors, be combined into one chapter. Acknowledgements are presented at the end of the paper, before references.

The number of tables and figures shall be limited to those absolutely necessary for clarification of the text. The same information must not be presented in both a table and a figure. Figures and tables should be numbered separately with Arabic numerals, and should be referred to in the text with clear remarks (Table 1, Figure 1). All tables and figures shall be inserted into the text in their original format. Tables and figures should contain all the information necessary to be understandable without reference to the text (authors should provide enough information in captions and explain all abbreviations). Figures should be of 300 dpi resolution, in JPG, PGN or TIFF format. Tables and figures are published in colour free of charge.

The paper will be sent to the corresponding author in PDF format before printing. The paper should be carefully corrected and sent back with the list of corrections made.

Further information on the way of writing scientific papers can be found on the following website: www.ease.org.uk/publications/author-guidelines

UPUTE AUTORIMA

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

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 preredom 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 recenzenata.

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 drvne 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://www.sumari.hr/sumlist>.

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. Japanska mušmula u Orebiću. □ Figure 1 The loquat in Orebić (Croatia).



Slika 2. Listovi su kožasti, naizmjenični, jednostavni, duguljasto obrnuto jajasti do duguljasto eliptični, nazubljenog ruba, 15–25 cm dugački, 5–8 cm široki, s 1 cm dugačkom peteljkom. □ Figure 2 The leaves are leathery, alternate, simple, obovate-oblong to elliptic-oblong, toothed, 15–25 cm long, 5–8 cm wide, with 1 cm long petiole.



Slika 3. Cvjetovi su dvospolni, 1,5–2 cm široki, u 10–15 cm dugačkim i širokim, hrđasto dlakavim metlicama. □ Figure 3 The flowers are bisexual, 1.5–2 cm in diameter, in 10–15 cm long and wide, rusty-tomentose panicles.



Slika 4. Jezgričasti plodovi su široko elipsoidni, kuglasti ili kruškoliki, žuti do narančasti, goli ili pustenasto dlakavi, 3–5 cm dugački; sadrže 2–5 sjemenki. □ Figure 4 The pomes are broadly ellipsoid, globose or pyriform, yellow to orange, glabrous or downy, 3–5 cm long, 2–5-seeded.

***Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl. – japanska mušmula, japanska nešpula (*Rosaceae*)**

Japanska mušmula je 5–7 (–10) m visoko, vazdazeleno, entomofilno, zoohorno, brzorastuće drveće. Krošnja je gusta i kuglasta, a listovi uočljivi, veliki, tamnozeleni, naglašene nervature i grube teksture. Cvjetovi su slatkasto mirisni, bjelkasti, u vršnim, uspravnim cvatovima. Japanska mušmula cvjeta krajem vegetacijskog razdoblja, od rujna do studenog. Prirodno je rasprostranjena u Kini, a često se sadi u područjima s umjerenom i subtropskom klimom. Osim što je često sadena ukrasna vrsta, uzgaja se i radi svojih jestivih, sočnih, slatkih do blago kiselkastih plodova, koji dozrijevaju od travnja do srpnja. U Hrvatskoj je najčešće prisutna u mediteranskom području.

***Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl. – Loquat, Japanese Medlar (*Rosaceae*)**

The loquat is 5–7 (–10) m tall, evergreen, entomophilous, zoochorous, fast-growing tree. The crown is dense and rounded, and the leaves are attractive, large, dark green, with pronounced veins and coarse texture. The whitish flowers are sweetly fragrant, arranged in terminal, erect inflorescences. Flowering occurs from September to November. It is native to China, and is often grown in regions with mild temperate to subtropical climates. Besides being a common ornamental species, it is also grown for its edible, juicy, sweet to subacid fruits, which ripen from April to July. In Croatia, it is most often grown in the Mediterranean region.