

ŠUMARSKI LIST

HRVATSKO ŠUMARSKO DRUŠTVO



UDC 630*
ISSN
0373-1332
CODEN
SULIAB



175
140 HRVATSKO
ŠUMARSKO
DRUŠTVO
ŠUMARSKI
LIST



5-6

GODINA CXLV
Zagreb
2021



HRVATSKO ŠUMARSKO DRUŠTVO

CROATIAN FORESTRY SOCIETY

članica
HIS

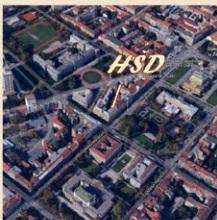
O DRUŠTVU
ČLANSTVO

stranice ogranaka:
BJ DE GO KA SI SP ZA

PRO SILVA CROATIA
SEKCIJA ZA BIOMASU
SEKCIJA ZA ZAŠTITU ŠUMA
EKOLOŠKA SEKCIJA
SEKCIJA ZA KULTURU, SPORT I
REKREACIJU
SEKCIJA ZA URBANO ŠUMARSTVO (FB)



AKADEMIJA ŠUMARSKIH ZNANOSTI



aktivna karta
Zagreb

Trg Mažuranića 11
tel: +385(1)48 28 359
fax: +385(1)48 28 477
mail: hsd@sumari.hr



www.sumari.hr

HRVATSKO ŠUMARSKO DRUŠTVO

175. godina djelovanja
19 ogranaka diljem Hrvatske
oko 2300 članova

IMENIK HRVATSKIH ŠUMARA

14039 osoba
22370 biografskih činjenica
14810 bibliografskih jedinica

ŠUMARSKI LIST

145. godina neprekidnog izlaženja
1100 svezaka na 84004 stranica
16130 članaka od 3146 autora

DIGITALNA ŠUMARSKA BIBLIOTEKA

4400 naslova knjiga i časopisa
na 26 jezika od 3036 autora
izdanja od 1732. do danas

IMENIK HRVATSKIH ŠUMARA



ŠUMARSKI LIST



DIGITALNA BIBLIOTEKA




EFN HŠ ŠF HŠI
HKISD DHMZ



Naslovna stranica – Front page:

Park šuma Trakošćan
(Foto: Milan Pernek)

Trakošćan Park Forest
(Photo: Milan Pernek)

Naklada 1660 primjeraka

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:
www.sumari.hr/sumlist

Journal of forestry Online:
www.sumari.hr/sumlist/en

Izdavač:
HRVATSKO ŠUMARSKO DRUŠTVO

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

"Izdavanje ovog časopisa sufinanciralo je Ministarstvo poljoprivrede sredstvima naknade za korištenje općekorisnih funkcija šuma. Ovdje navedeni stavovi ne moraju nužno odražavati stavove Ministarstva poljoprivrede"

"The publication of this journal was co-financed by the Ministry of Agriculture with funds collected from the tax on non-market forest functions. The opinions expressed here do not necessarily reflect the views of the Ministry of Agriculture".

Publisher: Croatian Forestry Society –
Editeur: Société forestière croate –
Herausgeber: Kroatischer Forstverein

Grafička priprema:
LASERplus d.o.o. – Zagreb
Tisak: CBprint – Samobor

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 | 12. Marina Juratović, dipl. ing. šum. | 23. Davor Prnjak, dipl. ing. šum. |
| 2. Emil Balint, dipl. ing. šum. | 13. Mr. sc. Petar Jurjević | 24. Krasnodar Sabljčić, dipl. ing. šum. |
| 3. Mr. sc. Boris Belamarić | 14. Ivan Krajačić, dipl. ing. šum. | 25. Zoran Šarac, dipl. ing. šum. |
| 4. Prof. dr. sc. Ružica Beljo Lučić | 15. Čedomir Križmanić, dipl. ing. šum. | 26. Ante Taraš, dipl. ing. šum. |
| 5. Mario Bošnjak, dipl. ing. šum. | 16. Danijela Kučinić, dipl. ing. šum. | 27. Prof. dr. sc. Ivica Tikvić |
| 6. Goran Bukovac, dipl. ing. šum. | 17. Prof. dr. sc. Josip Margaletić | 28. Davor Topolnjak, dipl. ing. šum. |
| 7. Mr. sp. Mandica Dasović | 18. Darko Mikičić, dipl. ing. šum. | 29. Oliver Vlainić, dipl. ing. šum., predsjednik |
| 8. Mr. sc. Josip Dundović | 19. Damir Miškulin, dipl. ing. šum. | 30. Doc. dr. sc. Dinko Vusić |
| 9. Prof. dr. sc. Milan Glavaš | 20. Damir Nuić, dipl. ing. šum. | 31. Silvija Zec, dipl. ing. šum. |
| 10. Goran Gobac, dipl. ing. šum. | 21. Martina Pavičić, dipl. ing. šum. | 32. Dražen Zvirotić, dipl. ing. šum. |
| 11. Mr. sc. Ivan Grginčić | 22. Doc. dr. sc. Sanja Perić | |

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

1. Šumski ekosustavi – Forest Ecosystems

Prof. dr. sc. Joso Vukelić,
urednik područja – *Field Editor*
Šumarska fitocenologija – *Forest Phytocoenology*

Urednici znanstvenih grana – *Editors of scientific branches:*

Prof. dr. sc. Jozo Franjić,
Šumarska botanika – *Forest Botany*

Doc. dr. sc. Krunoslav Sever,
Fiziologija šumskoga drveća – *Physiology of Forest Trees*

Prof. dr. sc. Marilena Idžojić,
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:*

Izv. 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,
Uzgajanje šuma – *Forest Silviculture*

Doc. 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*

Doc. 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

Prof. dr. sc. Jura Čavlović,
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*

Hranislav Jakovac, 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 Republika – *Czech Republic*

Glavni i odgovorni urednik – Editor in Chief

Prof. dr. sc. Josip Margaletić

Lektor – Lector

Dijana Sekulić-Blažina

Tehnički urednik i korektor – Technical Editor and Proofreader

Hranislav Jakovac, dipl. ing. šum.

Znanstveni članci podliježu međunarodnoj recenziji. Recenzenti su doktori šumarskih znanosti u Hrvatskoj, Slovačkoj i Sloveniji, a prema potrebi i u drugim zemljama zavisno o odluci uredništva.

Na osnovi mišljenja Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa 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 reviews. The reviewers are doctors of forestry sciences in Croatia, Slovakia and Slovenia, as well as in other countries, if deemed necessary by the Editorial board.

Based on the opinion of the Ministry of Science, Education and Sport 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, Geobase, SCOPUS, Portal of scientific journal of Croatia (Hrčak) et al.

SADRŽAJ

CONTENTS

Izvorni znanstveni članci – Original scientific papers

- UDK 630* 453 (001)
<https://doi.org/10.31298/sl.145.5-6.1>
Poršinsky T., V. Kajgana, Ž. Tomašić, A. Đuka
Granični nagib kretnosti skidera s vitlom temeljem vučne značajke vozila – Gradeability of the cable skidder based on traction performance 211
- UDK 630*232.3 (001)
<https://doi.org/10.31298/sl.145.5-6.2>
Sever K., D. D. Sviličić, T. Karažija, B. Lazarević, Ž. Škvorc
Fotosintetski odgovor bukovih klijanaca na suboptimalnu ishranjenost s mineralnim hranivima – Photosynthetic response of Common beech seedlings to suboptimal mineral nutrition 225
- UDK 630* 523 (001)
<https://doi.org/10.31298/sl.145.5-6.3>
Lojo A., J. Musić, B. Balić, A. Avdagić, V. Halilović, A. Ibrahimspahić, J. Knežević
Modeliranje debljine kore bukve (*Fagus sylvatica* L.) – Modeling bark thickness of Beech (*Fagus sylvatica* L.) . . 239
- UDK 630*114.1 + 116
<https://doi.org/10.31298/sl.145.5-6.4>
Çktgez T., R. Karagül, M. Özcan
Evaluation of the effects of some watershed characteristics on water and suspended sediment yield in agricultural and forest dominated watersheds – Procjena utjecaja nekih značajki sliva obilježenih dominantno šumarstvom i poljoprivredom na otjecanje vode i produkciju suspendiranog erozijskog nanosa 249

Prethodna priopćenja – Preliminary communications

- UDK 630* 453
<https://doi.org/10.31298/sl.145.5-6.5>
Landeka N., M. Uzelac, D. Poljuha, B. Sladonja
Prvi nalaz azijske pamučne štitaste uši *Takahashia japonica* u Hrvatskoj – The first record of the asiatic string cottony scale *Takahashia japonica* in Croatia 263
- UDK 630* 461
<https://doi.org/10.31298/sl.145.5-6.6>
Safner T., A. Gracanin, I. Gligora, B. Pokorny, K. Flajšman, M. Apollonio, N. Šprem
State border fences as a threat to habitat connectivity: a case study from South-eastern Europe – Ograde na državnim granicama kao prijetnja povezanosti staništa: studija slučaja iz Jugoistočne Europe 269

Pregledni članak – Review

- UDK 630* 172.8
<https://doi.org/10.31298/sl.145.5-6.7>
Milović M., M. Kebert, S. Orlović
How mycorrhizas can help forests to cope with ongoing climate change? – Kako mikorize mogu pomoći šumama da se nose s aktualnim klimatskim promjenama. 279

Zaštita prirode – Nature protection

- Arač, K.:
Zelena žuna (*Picus viridis* L.) 287

Franjić, J.:	
Popularizacija hrvatske flore	
Kraljevska paprat (<i>Osmunda regalis</i> L., <i>Osmundaceae</i>)	287

Aščić, I.:	
Ugrožene nacionalne divlje životinje	289

Aktualno – Current news

Sever, K.:	
Znanstveni projekt PhenoInter – projektna ideja i očekivani rezultati	291

Obljetnice – Anniversaries

Zec, S.:	
15 godina strukovne komore u šumarstvu (2006 – 2021)	296

Knjige i časopisi – Books and journals

Drvodelić, D.	
Prof. dr. sc. Milan Glavaš	
Ljekovite papratnjače	300

In memoriam

Vlainić, O.:	
Zoran Sabljarić, dipl. ing. šum.	
(Karlovac, 15. 5. 1961. – Karlovac, 3. 4. 2021.)	302

RIJEČ UREDNIŠTVA

ODLAZAK ČOVJEKA KOJI JE ŽIVOT POSVETIO ŠUMI I ŠUMARSTVU

30. ožujka 2021. godine u 83. godini života napustio nas je akademik, prof. emeritus Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, doktor honoris causa Mendelovog poljoprivrednoga i šumarskog Sveučilišta u Brnu (Češka) i Tehničkoga sveučilišta u Zvolenu (Slovačka), član predsjedništva HAZU, jedan od osnivača i prvi predsjednik Akademije šumarskih znanosti u Zagrebu, član kluba dekana Zagrebačkog sveučilišta i dugogodišnji predsjednik Hrvatskog šumarskog društva Slavko Matić.

Ovdje nećemo iznositi njegovu znanstvenu ostavštinu o kojoj govori dovoljno njegova bibliografija, dostupna na WEB stranicama HŠD-a, kao i brojna priznanja koja je primio u bogatoj karijeri šumarskog pedagoga i znanstvenika.

Iako je uže područje znanstvenoga rada Slavka Matića, unutar znanstvenoga područja biotehničkih znanosti, uzgajanje šuma, on je svojim širokim poljem aktivnosti obilježio cijelo jedno razdoblje šumarske povijesti konca 20. i početka 21. stoljeća.

Ljubav prema šumama i šumarstvu usmjerila je njegov životni put te je često isticao da šumarstvo nije samo struka, već i način života.

Uporno je zagovarao i promicao jedinstvo šumarske politike, znanosti, obrazovanja i struke.

Njegove riječi izgovorene na 107. godišnjoj skupštini HŠD-a u Županji misao su vodilja i njegovo poimanje šumarske struke. „Ponosni smo na svoju dugu tradiciju obilježenu ponajprije brigom za šume i šumarstvo Hrvatske, u želji da svi oni koji aktivno rade u toj struci daju najviše u prilog poboljšanja kvalitete i vječnosti šuma. Isto tako, uvijek smo vjerovali, a i danas, da će nam se uloženi trud i ljubav prema šumi višestruko i trajno vratiti, ne u enormnim i za pristojan život nepotrebnim materijalnim dobrima, nego u zadovoljstvu i saznanju da pripadamo struci gdje je rad, ljubav i poštenje temeljna odrednica i zakon. Bez tih odrednica ne bi bilo moguće uzgojiti i danas održati šume, koje su po svojoj strukturi i vrijednosti najljepše i najvrjednije u Europi. Bez takvog uvjerenja ne bi bilo moguće šume uzgajati i održavati u stanju da daju materijalna i općekorisna dobra, dobra namijenjena svakom čovjeku ove zemlje“.

Bio je u pravom smislu zaštitnik šuma i šumarske struke. Sjetimo se njegovih reakcija kada je znao „zagrmiti“ uko-

liko se nešto unutar struke nije odvijalo u skladu s njezinim pravilima bez obzira da li se to odnosilo na izdvajanja šuma i šumskog zemljišta za potrebe građevinske infrastrukture ili za poljoprivrednu proizvodnju, ili kod primjene građevinskih zahvata (Kanal Dunav-Sava, Projekt Zagreb na Savi, Hidrocentrale na Dravi, šuma Kalje) s negativnim posljedicama na šumski ekosustav. U svojim istupima često je bio protiv politike pasivne zaštite šuma provedene od strane Zavoda za zaštitu okoliša i prirode pri današnjem Ministarstvu gospodarstva i održivog razvoja, naglašavajući sječu kao sredstvo njege šuma.

Kada bi se poduzimali zahvati u šumama koji nisu bili u skladu s načelima Zagrebačke škole uzgajanja šuma, kojim je bio jedan od utemeljitelja, šumari su znali da je tu profesor Matić, koji će reagirati i adekvatno odgovoriti.

Otvoreno je istupao protiv plaćanja vodne naknade za površine šuma i šumskog zemljišta koje istovremeno jedine omogućuju prirodni vodni režim i čistu vodu. Uvijek je naglašavao važnost općekorisnih funkcija šuma, dok je drvo smatrao kao nusproizvod gospodarenja šumama.

Prostore Hrvatskoga šumarskoga društva smatrao je svojim drugim domom gdje je često raspravljao o šumama i šumarstvu.

Iskazivao je nezadovoljstvo aktualnom politikom prema šumarstvu, koja je posebice nakon brisanja imena šumarstva iz naziva resornog ministarstva, sustavno zanemarivala interese šumarske struke.

Žalostilo ga je ponašanje brojnih naših kolega, koji su pod uticajem politike pretpostavili konformizam trenutnih rukovodećih funkcija osnovnim šumarskim postulatima koje su učili na Fakultetu.

Odlaskom profesora Matića završilo je jedno razdoblje koje će nama suvremenici ostati u sjećanju kao nezaboravno iskustvo, plemenitog, šumarskog načina života i zajedništva, a koje je rezultiralo njegovanim i očuvanim šumama.

Hoće li novi trendovi koji su sve izraženiji u današnjem šumarstvu, a prema kojima su šumarski stručnjaci sve manje povezani sa šumom, ali i međusobno, uspjeti odgovoriti na nove izazove, posebice u okolnostima sve izraženijih klimatskih promjena, tek je za vidjeti.

Uredništvo

EDITORIAL

THE DEMISE OF A MAN WHO HAS DEVOTED HIS LIFE TO FORESTS AND FORESTRY

Slavko Matić, Academy member, Professor Emeritus of the Faculty of Forestry and Wood Technology of the University of Zagreb, Doctor Honoris Causa of the Mendel University of Agriculture and Forestry in Brno (Czech Republic) and the Technical University in Zvolen (Slovakia), member of the presidency of the Croatian Academy of Sciences and Arts, one of the founders and the first president of the Academy of Forestry Sciences in Zagreb, member of the Deans' Club of the University of Zagreb and long-standing president of the Croatian Forestry Association, passed away on March 30th, 2021, at age 83.

We are not going to discuss his scientific achievements here. His bibliography, available from the web site of the Croatian Forestry Association, fully testifies to his immense scientific legacy, as do numerous awards and recognitions which he received during his rich career of forestry pedagogue and scientist.

Although Slavko Matić's scientific work focused more specifically on silviculture within the scientific area of biotechnical sciences, his broad spectrum of activities left an indelible mark on the whole era of forestry history at the end of the 20th and the beginning of the 21st century.

His life path was determined by his love for forests and forestry. He would often say that forestry was not only a profession but also a way of life. He staunchly advocated and promoted the unity of forestry policy, science, education and profession.

His words, spoken at the 107th annual assembly of the Croatian Academy of Sciences in Županja illustrate his mission and his understanding of the forestry profession. „We are proud of our long tradition marked above all by the utmost care for forests and forestry of Croatia. We would like all those who are actively involved in this profession to do their best in order to improve the quality and eternity of forests. We have always believed and we still believe that all our efforts and love invested in the forest will be paid back manifoldly and permanently, but not in enormous and unnecessary material goods, but in the satisfaction and knowledge that we belong to a profession in which work, love and honesty are the basic principles and laws. Without these principles it would not be possible to raise and maintain forests today, whose structure and worth rank them among the most beautiful and valuable in Europe. These beliefs allow us to cultivate and preserve forests in the state in which they provide both market and non-market goods, goods dedicated to every person in this country”.

He was the protector of forests and the forestry profession in every sense of the word. We still remember vividly how our professor would “storm and thunder” if something was not done according to the rules of the forestry profession. It might have been a number of things, such as the conversion of forests and forestland for the needs of building infrastructure or for agricultural production, when construction interventions would be undertaken in the affected zone with negative impacts on the forest ecosystem (the Danube-Sava Canal, the Zagreb Project on the River Sava, hydro-power stations on the River Drava, the Kalje forest). He also frequently spoke against the policy of passive forest protection promoted by the Croatian Ministry of Environmental Protection, stressing felling as a means of tending forests.

When interventions were made in forests which went against the principles of the Zagreb School of Silviculture, of which he was one of the founders, foresters knew with certainty that it was Professor Matić who would react and respond adequately.

He openly opposed the payment of the water fee for forests and forestland, while at the same time they are the only ones that ensure a natural water regime and provide clear water. He always highlighted the importance of non-market forest functions and viewed timber as a side product of forest management.

He considered the Croatian Forestry Association as his second home. Here, we would often discuss in detail issues related to forests and forestry.

He expressed dissatisfaction with the current policy towards forestry, which systematically neglected the interests of the forestry profession, particularly after the word forestry was omitted from the name of the corresponding ministry. He was also saddened by the fact that a number of our colleagues who, under the influence of politics, put the conformism of current managerial functions above the forestry postulates we were taught at the faculty.

The demise of Professor Matić ends a period which we, his contemporaries, will always look upon as an unforgettable experience of living a noble foresters' life in togetherness, the result of which are well-tended and preserved forests.

Will the new trends increasingly visible in present day forestry, in which foresters have less and less contact with forest and with their colleagues, be able to respond to all the challenges, particularly in conditions of growing climate changes, remains to be seen.

Editorial Board

GRANIČNI NAGIB KRETNOSTI SKIDERA S VITLOM TEMELJEM VUČNE ZNAČAJKE VOZILA

GRADEABILITY OF THE CABLE SKIDDER BASED ON TRACTION PERFORMANCE

Tomislav PORŠINSKY, Vitomir KAJGANA, Željko TOMAŠIĆ, Andreja ĐUKA*

SAŽETAK

Na osnovi poznavanja dimenzijskih značajki skidera s vitlom (osnovne dimenzije, masa vozila, položaj točke težišta), razvijen je model procjene kretnosti skidera za privlačenje drva uz nagib terena na siguran, djelotvoran i okolišno prihvatljiv način. Model je zasnovan na graničnom nagibu kretnosti skidera temeljem vučne značajke vozila, koji povezuje dva istraživačka pristupa, 1) vozilo – teren (raspodjela sila ovisno nagibu i vučenom teretu) te 2) kotač – tlo (procjena vučnih značajki skidera temeljem indeksa kotača), uz poštivanje niza ograničenja proisteklih iz prethodnih istraživanja: i) rasterećenja prednje osovine vozila, ii) preopterećenja stražnje osovine vozila, iii) najmanje uzdužne stabilnosti skidera, iv) najmanje nosivosti šumskog tla te v) dopuštenog opterećenja pneumatika.

Rezultati simulacijskog modeliranja procjene kretnosti skidera s vitlom Ecotrac 55V opremljenoga pneumaticima 12.4-24 pri privlačenju drva uz nagib terena, značajno se razlikuju s obzirom na uvjete nosivosti podloge te masu vučenih tereta. Kod manjih tereta, mase do 1 tone, kretnost skidera određuju kriteriji/ograničenja graničnoga nagiba kretnosti vozila (vučna značajka) i okolišne pogodnosti (najmanja nosivost podloge). Porastom težine tereta, osim nosivosti šumskog tla, odlučujući ograničavajući čimbenik kretnosti postaje odnos opterećenja prednje i stražnje osovine vozila ($>1 : 3,5$), koji ograničava kretnost skidera na terene nagiba $<33\%$ kod tereta od 1,5 tone, tj. $<20\%$ kod tereta od 2 tone. Kod tereta od 2,5 tone, na kretnost skidera, utječu kriteriji najvećeg dopuštenog opterećenja stražnje osovine skidera na nagibima $<7\%$.

KLJUČNE RIJEČI: skider s vitlom, privlačenje drva uz nagib, granični nagib kretnosti skidera, vučna značajka

1. UVOD INTRODUCTION

Pri ocjenjivanju pogodnosti primjene šumskih vozila koje rabimo za sječu i izradbu te privlačenja drva, ali i planiranje izvođenja mehaniziranog pridobivanja drva na djelotvoran, siguran i okolišno prihvatljiv način, pred šumarske se stručnjake nameće zahtjev za poznavanjem kretnosti šumskih vozila (Đuka 2014, Eichrodt i Heinimann 2001, Holzfeind i dr. 2019, Labelle i Lemmer 2019, Marčeta i dr. 2020).

Kretnost je šumskih vozila njihova sposobnost prolaska s jednoga na drugo mjesto u prostoru šumskoga radilišta (sječine) uz zadržavanje: 1) mogućnosti izvršavanja svoje primarne zadaće i 2) okolišne i energijske pogodnosti. Prisutnost i izraženost terenskih čimbenika (nagib terena, površinske prepreke i nosivost podloge), određuje prometnost terena, koja omogućuje ili onemogućuje kretanje šumskih vozila (Poršinsky i dr. 2016). S obzirom na složenost međudjelovanja vozila i terena, isti autori raščlanjuju kretnost

¹ Prof. dr. sc. Tomislav Poršinsky, e-pošta: tomislav.porsinsky@sumfak.unizg.hr, Doc. dr. sc. Andreja Đuka, e-pošta: andreja.duka@sumfak.unizg.hr, Zavod za šumarske tehnike i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne industrije, Svetošimunska 25, HR – 10 000 Zagreb

² Dr. sc. Željko Tomašić, e-pošta: zeljko.tomasic@hrsume.hr, Hrvatske šume d.o.o. – Direkcija Zagreb, Ulica kneza Branimira 1, HR – 10 000 Zagreb, Vitomir Kajgana, mag. ing. silv., auric forest d.o.o., Vatroslava Lisinskog 65, 31500 Našice, e-mail: vkajgana@auric-oak.com

* dopisni autor – corresponding author

A) Pristup vozilo (skider s vitlom) – teren – Vehicle (cable skidder) – terrain approach

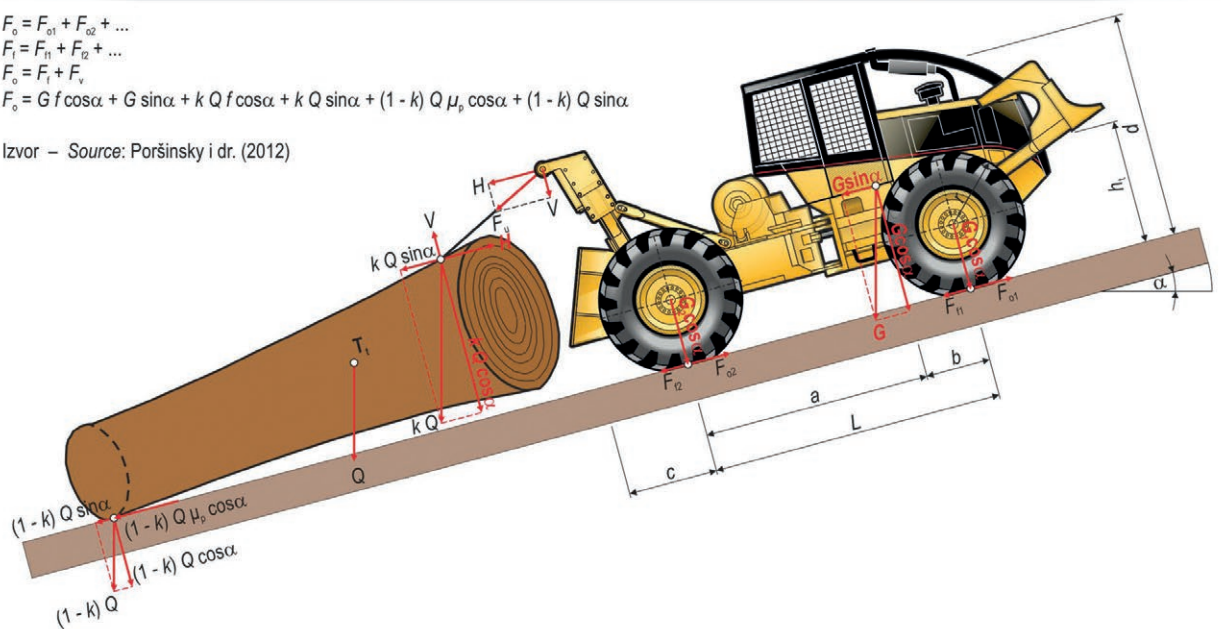
$$F_o = F_{o1} + F_{o2} + \dots$$

$$F_i = F_{i1} + F_{i2} + \dots$$

$$F_o = F_i + F_v$$

$$F_o = G f \cos \alpha + G \sin \alpha + k Q f \cos \alpha + k Q \sin \alpha + (1 - k) Q \mu_p \cos \alpha + (1 - k) Q \sin \alpha$$

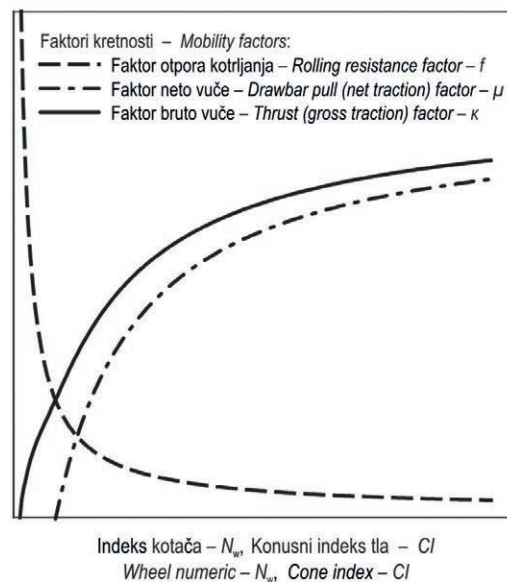
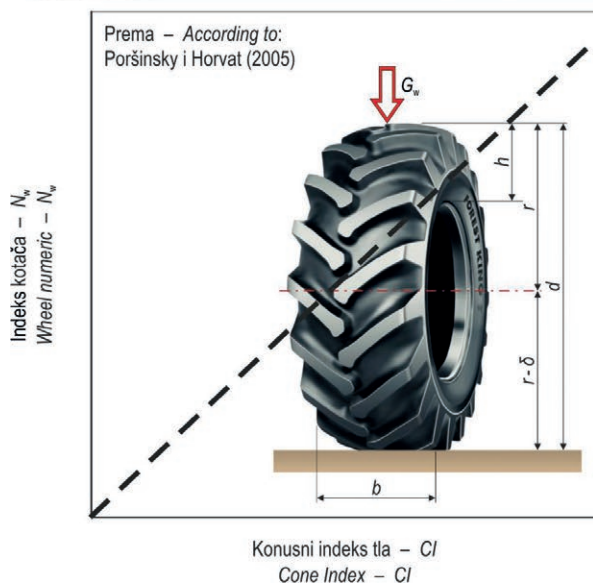
Izvor – Source: Poršinsky i dr. (2012)



Kazalo oznaka – Labels:

 α Kut uzdužnoga nagiba terena
Angle of longitudinal terrain slopeG Težina skidera
Skidder weight G_1 Opterećenje prednje osovine
Front axle load G_2 Opterećenje stražnje osovine
Rear axle load F_o Obodna sila
Thrust force F_v Sila u užetu
Rope forceH Horizontalna komponenta sile u užetu
Horizontal component of rope forceV Vertikalna komponenta sile u užetu
Vertical component of rope forceQ Težina tereta
Load weightf Faktor otpora kotrljanja
Rolling resistance factork Faktor raspodjele mase tereta
Load mass distribution factor μ_p Faktor otpora privlačenja drva
Skidding resistance factorL Međuosovinski razmak
Wheelbasea Udaljenost težišta od stražnje osovine
Center of gravity distance from rear axleb Udaljenost težišta skidera od prednje osovine
Center of gravity distance from front axle h_i Visina težišta skidera
Center of gravity heightc Udaljenost horizontalnih valjaka od stražnje osovine
Horizontal rollers distance from rear axled Visina horizontalnih valjaka
Horizontal rollers height

B) Pristup kotač – tlo – Wheel – soil approach



Slika 1. Pristupi istraživanju kretnosti skidera s vitlom

Fig. 1 Research approach of cable skidder mobility

šumskih vozila na: 1) Prohodnost (mogućnost svladavanja nepravilnosti terena, pri čemu dolazi do međudjelovanja dva geometrijska sustava – geometrije vozila i geometrije

površine terena), 2) Vučnu značajku (ovisnost vučne sile o klizanju kotača i nosivosti podloge) te 3) Okolišnu (dodirni tlakovi) i energijsku (potrošnja goriva) pogodnost. Đuka

(2014) ističe da je odabir sredstva privlačenja drva u svjetlu djelovanja terenskih čimbenika određenih reljefnih područja šuma te razine primarne i sekundarne otvorenosti šuma, najbitnija odrednica cijeloga sustava pridobivanja drva.

Šumska vozila za privlačenje drva, međusobno se razlikuju s obzirom na različitost načina prihvata drva (vučno uže ili hidraulična dizalica), pogodnih metoda izradbe drva (stablovna, deblovna ili sortimentna), načina kretanja drva u odnosu na dodir s tlom (vuča po tlu ili koturanje na kotaču), područja primjene (ravničarsko-brežuljkasti ili nagnuti tereni) te se njihova kretnost može opisati na primjerima dva dijametralno suprotna vozila: forvarderu i skideru. Svakako, skider s vitlom predstavlja veći istraživački izazov uslijed zahtijevnijega međudjelovanja s terenom, ali i zbog značajno većega udjela privučenoga drva u hrvatskome šumarstvu (Tomašić 2012).

Pored udaljenosti privlačenja drva (Đuka i dr. 2017), najznačajniji utjecajni čimbenik proizvodnosti i jediničnih troškova privlačenja drva je obujam tereta (drva), koji šumska vozila transportiraju unutar traktorskog turnusa (ciklusa). Najčešće je pitanje koje se postavlja pri odabiru vozila, ali i planiranju privlačenja drva: Koji teret može određeno šumsko vozilo privući na određenom nagibu i smjeru nagiba terena te pri određenoj nosivosti podloge?

Odgovor na postavljeno pitanje nije jednostavan, jer se privlačenje drva skiderima odvija s jednim krajem vučenoga drva odignutim od tla te preko vučnog uža vitla ovješanim i/ili oslonjenim na stražnju zaštitno-prihvatnu dasku vozila, dok se drugi oslonjeni kraj tereta vuče po tlu, iz čega proizlazi osnovna namjena skidera – ostvarivanje vučne sile na obodu kotača. Mjerenja cijeloga niza sila, otpora i momenata, dugotrajan su i skup postupak, a polučeni su rezultati mjerenja primjenjivi isključivo na uvjete u kojima su mjerenja vršena (tip skidera, uzdužni nagib terena, smjer privlačenja drva, nosivost šumskog tla, značajke vučenoga drva).

Odgovor na postavljeno pitanje daje simulacijsko modeliranje koje povezuje dva istraživačka pristupa proučavanju procjene kretnosti skidera pri privlačenju drva (slika 1), a kojim je moguće obuhvatiti širi raspon vrijednosti navedenih utjecajnih čimbenika, uz poštivanje ograničenja koja su proistekla iz prethodnih istraživanja.

Teorijski pristup/okvir raspodjele sila pri privlačenju drva skiderom s vitlom, postavio je Bennet (1962) koji je raščlanio sile pri privlačenju drva na vertikalne, horizontalne i frikcijske, a koji je u literaturi postao poznat pod nazivom »sustav vozilo – teren«. Navedenim, skider pri privlačenju drva po ravnome terenu, započinje vuču drva u trenutku kada obodna sila (dovedena sustavom transmisije na obod kotača vozila) započinje svladavati sile otpora: 1) kotrljanja skidera, 2) kotrljanja dijela ovješena tereta o vučno uže i

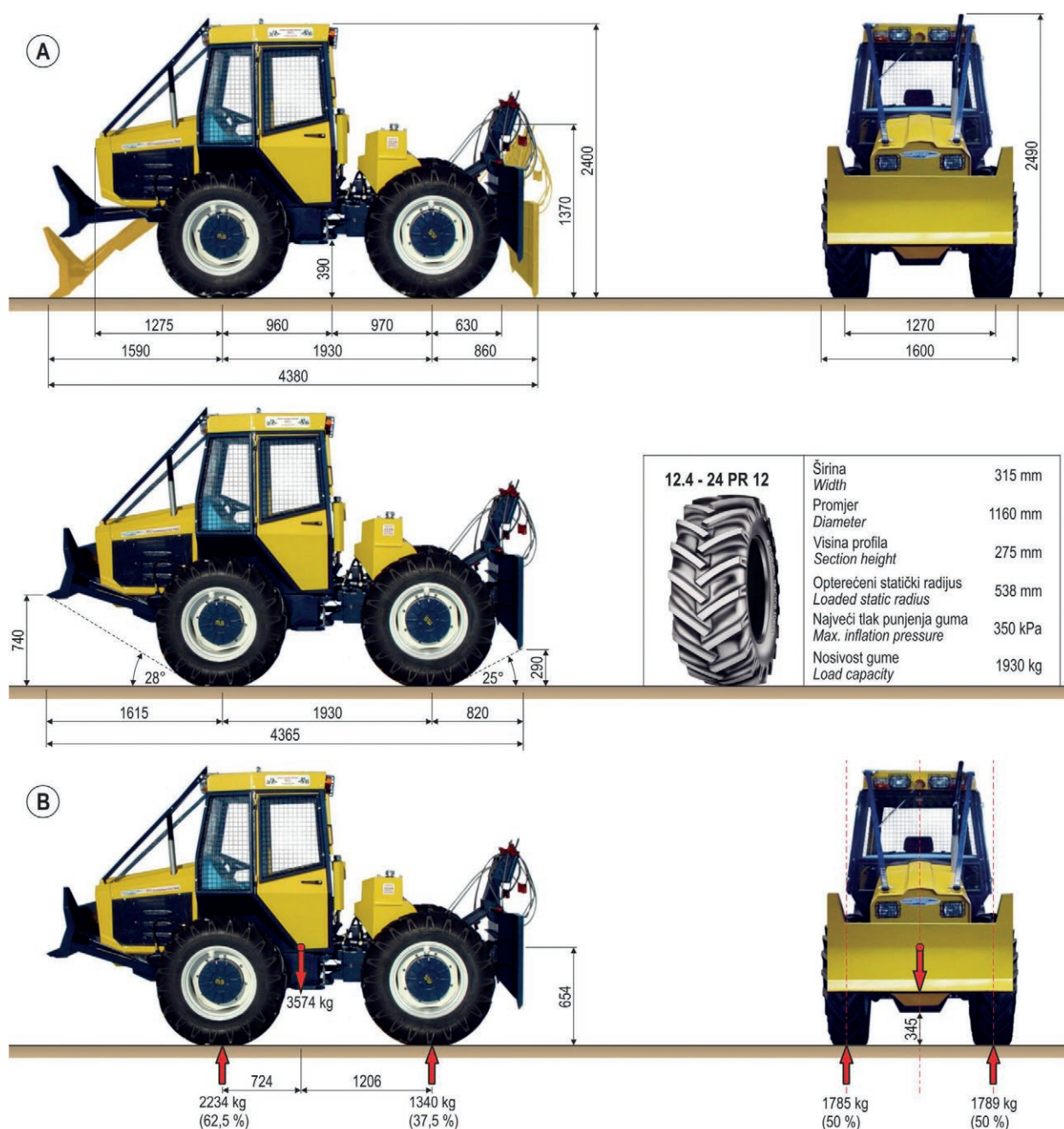
3) trenja dijela oslonjenog tereta (drva) na šumsko tlo. Pri privlačenju drva uz nagib terena, raspodjela sila postaje složenija te skider započinje vuču drva u trenutku kada obodna sila započinje svladavati još i otpore sila (slika 1A): 1) svladavanja nagiba terena skiderom, 2) svladavanja nagiba terena dijela ovješena tereta te 3) svladavanja nagiba terena dijela oslonjenog tereta. Pri privlačenju drva niz nagib terena, obodna sila svladava iste otpore kao i kod privlačenja drva uz nagib, samo rezultante tri sile otpora (otpor svladavanja nagiba terena skiderom, otpor svladavanja nagiba terena dijela ovješena tereta, otpor svladavanja nagiba terena dijela oslonjenog tereta) sada djeluju u suprotnome smjeru, tj. smjeru kretanja vozila. Upravo iz sustava »vozilo – teren«, proizlazi i jedino ograničenje privlačenje drva niz nagib terena – granični nagib terena pri kojem vučeno drvo počinje gurati skider, tj. trenutak kada horizontalna sastavnica sile u užetu poprimi vrijednost nula, što se događa kada su težina tereta i otpor vuče u ravnoteži (Đuka 2014, Đuka i dr. 2016).

Osim dimenzijskih i masenih značajki vozila, teorijski pristup »vozilo – teren« istraživanja privlačenja drva skiderom, zahtijeva poznavanje faktora raspodjele tereta i otpora privlačenja drva (Hassan 1977, Sever 1980). Faktor raspodjele mase tereta pokazuje kolika je masa tereta odignuta od tla, odnosno ovješena o uže, a kolika se vuče oslonjena na tlo. Značenje faktora raspodjele mase tereta na privlačenje drva ogleda se u nastojanju da se što veći dio tereta (vučenoga drva) odigne od tla kako bi se povećala adhezijska težina vozila, smanjilo oštećenje tla, ali i smanjila vučna sila potrebna za svladavanje otpora privlačenja (Horvat 1990). Dosadašnja su istraživanja (Hassan i Sirois 1983) pokazala da faktor raspodjele mase tereta ne ovisi samo o dimenzijama (masi) tereta, već i o visini hvatišta sile u užetu kojim je teret pričvršćen za skider. Zbog vuče po tlu dijela tovara javlja se otpor privlačenja određen težinom tereta oslonjenoga na tlo i faktorom otpora privlačenja. Horizontalna sastavnica sile u užetu svladava otpore privlačenja između dijela težine tereta i tla te se stoga na osnovi poznatih vrijednosti sile, težine i faktora raspodjele mase tereta te nagiba terena izračunava faktor otpora privlačenja (Poršinsky i dr. 2012). Faktor otpora privlačenja osim o težini tereta ovisi o obliku tereta, veličini dodirne površine tereta s tlom i neravninama podloge (Hassan i Gustafson 1983). Isti autori, navode da se oblik tereta razlikuje s obzirom na metodu izrade (stablovna, deblovna, sortimentna), a veličina dodirne površine između tovara vučenoga drva i tla ovisi o visini vezanja tereta, orijentaciji vuče (deblji ili tanji kraj) te broju komada stabala/debala/oblovine u teretu. Porastom točke vezanja tereta smanjuje se dodirna površina tereta s tlom i otpor privlačenja. U dosadašnjim istraživanjima vučnih značajki skidera utvrđene su sljedeće prosječne vrijednosti faktora raspodjele mase tereta $0,462 \pm 0,118$ (Kockums 821, Sever 1980), $0,485 \pm 0,093$ (Ecotrac

120V, Šušnjar 2005), $0,527 \pm 0,065$ (Ecotrac 55V, Tomašić 2007), odnosno faktora otpora privlačenja drva $0,442 \pm 0,120$ (Kockums 821, Sever 1980), $0,485 \pm 0,093$ (Ecotrac 120V, Šušnjar 2005) te $0,549 \pm 0,103$ (Ecotrac 55V, Tomašić 2007).

Kretnost skidera ovisi i o njegovim vučnim značajkama tj. ovisnosti vučne sile o klizanju kotača i nosivosti podloge (Hassan 1977, Horvat 1990, Sever 1980). Razvojem empirijske metode proučavanja složenoga sustava kotač – tlo, u literaturi poznate kao WES – metoda (*Waterways Experimentation Station, US Army Corps of Engineering Research*),

za povezivanje vučnih značajki vozila s nosivosti tla (konusnim indeksom) koristi se – indeks kotača (slika 1B). Indeks kotača predstavlja bezdimenzijski parametar (faktor), koji opisuje međudjelovanje opterećenoga kotača i tla. Ovaj je pokazatelj određen odnosom dodirnoga tlaka kotača na tlo i nosivosti tla mjerene penetrometrom. Pomoću faktora kretnosti (bruto i neto vuče, otpora kotrljanja) izražavaju se i procjenjuju vučne značajke vozila (obodna i vučna sila, otpor kotrljanja) na osnovi opterećenja kotača vozila (slika 1B). Područje iznad krivulje faktora bruto vuče je područje nemogućega kretanja vozila, jer je u tom slučaju optereće-



Prema – According to: Tomašić (2007) i Kajgana (2014)

Slika 2. Skider s vitlom Ecotrac 55V (A – Dimenzije vozila i značajke guma, B – Raspodjela mase)

Fig. 2 Ecotrac 55V Cable Skidder (A – Vehicle dimensions and tyre characteristics, B – Mass distribution)

nje kotača veće od obodne sile. Poršinsky i Horvat (2005) navode da faktor neto vuče pokazuje koliko se adhezijske težine šumskih vozila pretvara u vučnu silu. Skideri počinju ostvarivati vuču tereta u sjecištu krivulja faktora neto vuče i otpora kotrljanja, a forvarderi u sjecištu krivulja faktora bruto vuče i otpora kotrljanja zato što ne vuku drvo već ga voze (nose) na sebi te pri tome svladavaju samo otpore kotrljanja (Poršinsky 2005). Isti autor, navodi da u slučaju različitih dimenzija prednjih i stražnjih kotača, odnosno nejednake raspodjele opterećenja između prednje i stražnje osovine vozila, za procjenu se kretnosti vozila po WES-metodi koristi tzv. referentni kotač – kotač vozila, kao onaj s najnižom vrijednošću indeksa kotača, odnosno najvećim opterećenjem kotača vozila.

Cilj je ovoga rada, na primjeru prorednoga skidera s vitlom Ecotrac 55V, odrediti: 1) granični nagib kretnosti skidera temeljem vučne značajke vozila s obzirom na različite veličine tovara vučenoga drva i uvjete nosivosti podloge, odnosno 2) model procjene kretnosti skidera pri privlačenju drva uz nagib terena.

2. MATERIJAL I METODE MATERIALS AND METHODS

Izrada modela procjene kretnosti skidera za privlačenje drva uz nagib, zasnovana je na šumskom vozilu hrvatske strojogradnje Ecotrac 55V. Skider Ecotrac 55V je četverokotačno zglobno vozilo (pogona 4×4) opremljeno dvobubanjnim šumskim vitlom Hittner 2×35 , nazivne vučne sile 35 kN. Skider je pogonjen dizelskim motorom DEUTZ, zapremine 3236 cm^3 , nazivne snage 40 kW pri 2300 min^{-1} te najvećega zakretnoga momenta od 207 Nm pri 1600 min^{-1} . Osim male mase (3,574 t) te 3,9 m unutarnjeg i 4,2 m vanjskog polumjera skretanja, posebnost je ovoga prorednoga skidera izostanak prednje oscilirajuće osovine, a vertikalnu gibljivost okvira vozila osigurava dvosmjerni (forwarderski) zglob s kutom loma u vertikalnoj ravnini od 16° . Osnovne tehničke značajke skidera Ecotrac 55V, s obzirom na normu ISO 13861 (2000), prikazane su na slici 2.

Na temelju gabaritnih dimenzija skidera Ecotrac 55V (slika 2A) te poznavanja mase i položaja točke težišta vozila (slika 2B) odredit će se raspodjela opterećenja skidera pri privlačenju drva uz nagib terena s obzirom na različitu količinu (masu) vučenog drva. Za potrebne ovisnosti faktora raspodjele tereta (izraz 9) i otpora privlačenja drva (izraz 10) skiderom Ecotrac 55V o utjecajnim čimbenicima, koristiti će

se stohastički izrazi koje je utvrdio Kajgana (2014) naknadno obrađujući izvorne podatke mjerenja vučnih značajki skidera Ecotrac 55V (Tomašić 2007).

Raspodjela opterećenja skidera Ecotrac 55V, obuhvatit će izračun i analize sljedećih parametara: 1) Adhezijske težine skidera (izraz 1), 2) Okomite (vertikalne) sastavnice sile u užetu (izraz 3), 3) Usporedne (horizontalne) sastavnice sile u užetu (izraz 4), 4) Opterećenja prednje osovine skidera (izraz 5), 5) Opterećenja stražnje osovine skidera (izraz 6), 6) Graničnog tereta prema uzdužnoj stabilnosti vozila (izraz 7), 7) Vučne sile (izraz 2) te 8) Faktora neto vuče (izraz 8). Opterećenje kotača skidera (G_w), ovisno o uzdužnom nagibu terena te količini (masi) vučenoga drva, pretpostavit će podjednaku raspodjelu osovinskog opterećenja. Na osnovi opterećenja kotača skidera, utvrdit će se referentni kotač vozila (kao onaj s najvećim opterećenjem), ali i izračunati nominalni tlak skidera na podlogu (Mellgren 1980), prema izrazu 15.

Procjena vučnih značajki skidera Ecotrac 55V odredit će se temeljem Brixiusovog modela (Brixius 1987), s obzirom na: 1) opterećenje referentnog kotača vozila, 2) konusni indeks tla, 3) klizanje kotača od 20 %¹. Brixiusov model kretnosti vozila zasnovan je na izrazima: 1) indeksa kotača vozila (izraz 11), 2) faktora otpora kotrljanja (izraz 12) te 3) faktora bruto vuče (izraz 13). Navedeni izrazi koji predviđaju vrijednosti indeksa kotača i faktora kretnosti razvijeni su regresijskom analizom mjernih rezultata 121 pokusa, tj. kombinacije tla i dimenzija guma, odnosno opterećenja kotača. S obzirom na to da je indeks kotača temeljen i na progibu pneumatika kotača, za procjenu ovoga parametra korišten je empirijski izraz (Saarilahti 2002), koji se zasniva na tlaku punjenja guma i opterećenju kotača (izraz 14). Posebno valja istaknuti, da iako je Brixiusov model razvijen za potrebe procjene kretnosti poljoprivrednih traktora po oranicama, mnogi autori (Eichrodt 2003, Lubello 2008, Đuka 2014) ga smatraju najpogodnijim za procjenu kretnosti šumskih vozila, uslijed uklapanja značajki opterećenih šumskih vozila u područje primjenjivosti modela.

U odnosu na ostale autore, Brixiusov indeks kotača (izraz 11), u obzir uzima i: 1) omjer progiba i visine profila gume (Δ/h) te 2) omjer širine i promjera gume (b/d) opterećenoga kotača. Indeks kotača, koji predstavlja međudjelovanje opterećenoga kotača i tla, koristi se u jednadžbama za predviđanje faktora otpora kotrljanja (izraz 12) i faktora bruto vuče (izraz 13). Posebno valja istaknuti da Brixiusov model

¹ Pojava klizanja predstavlja smicanje čestica tla zahvaćenog rebrima pneumatika koja se zasjecaju u tlo pri kontaktu s njegovim površinskim slojem. Pri manjim vučnim silama površinski sloj tla po kojem se kreću pogonski kotači skidera ostaje na svom mjestu, jer je vučna sila traktora manja od kohezijskih sila tla. Proklizavanje kotača nastupa u trenutku kada dolazi do prekoračenja otpora tla na smicanje zahvaćenog rebrima kotača uslijed povećane vlažnosti tla. Samo klizanje kao pojava, ne ograničava potrebnu obodnu odnosno vučnu silu, već predstavlja energijski gubitak koji smanjuje brzinu kretanja vozila i utječe na korisnost kotača. Šušnjar i dr. (2010) navode da se najveća korisnost kotača pri privlačenju drva šumskim vozilima postiže kod klizanja 20 %, a daljim porastom klizanja dolazi do strmog pada faktora bruto vuče i rasta faktora otpora kotrljanja.

Tablica 1. Jednadžbe korištene u određivanju pokazatelja privlačenja drva skiderom s vitlom**Table 1** Equations used in defining parameters during timber extraction with a cable skidder

Pristup vozilo (skider s vitlom) – teren (privlačenje drva uz nagib terena) – Vehicle (cable skidder) – terrain (uphill timber extraction) approach			
Adhezijska težina – Adhesive weight [kN]		Vučna sila – Drawbar pull [kN]	
$G_a = G \cos \alpha + V$	(1)	$F_d = H + G_a \sin \alpha$	(2)
Okomita sastavnica sile u užetu – Vertical component of rope force [kN]		Horizontalna sastavnica sile u užetu – Horizontal component of rope force [kN]	
$V = k Q \cos \alpha$	(3)	$H = Q (1 - k) \cos \alpha \mu_p + Q \sin \alpha$	(4)
Opterećenje prednje osovine – Front axle load [kN]		Opterećenje stražnje osovine – Rear axle load [kN]	
$G_1 = \frac{G \cos \alpha \cdot a - G \sin \alpha \cdot h_t - H \cdot d - V \cdot c}{L}$	(5)	$G_2 = \frac{G \cos \alpha \cdot b + G \sin \alpha \cdot h_t + H \cdot d + V \cdot (L + c)}{L}$	(6)
Granični teret prema uzdužnoj stabilnosti vozila – Critical load in reference to vehicle longitudinal stability [kN]		Faktor neto vuče – Net traction factor	
$Q_{crit} = \frac{G (a \cos \alpha - h_t \sin \alpha)}{d \sin \alpha + k c \cos \alpha + d (1 - k) \mu_p \cos \alpha}$	(7)	$\mu = \frac{F_d}{G_a} = \frac{H + G_a \sin \alpha}{G_a}$	(8)
Faktor raspodjele mase tereta – Load mass distribution factor		Faktor privlačenja – Skidding resistance factor	
$k = 0,69028 + 0,00162 \alpha - 0,05008 m - 0,02816 l$	(9)	$\mu_p = 0,55136 - 0,00188 \alpha$	(10)
Kazalo simbola – Labels:			
a – Udaljenost težišta od stražnje osovine – Distance from centre of gravity to rear axle [m]			
b – Udaljenost težišta od prednje osovine – Distance from centre of gravity to front axle [m]			
c – Udaljenost horizontalnih valjaka od stražnje osovine – Horizontal rollers distance from rear axle [m]			
d – Visina horizontalnih valjaka – Height of horizontal rollers [m]			
L – Međuosovinski razmak – Wheelbase [m]			
h_t – Visina težišta – Centre of gravity height [m]			
α – Uzdužni nagib terena – Longitudinal terrain slope [%]			
G – Težina skidera – Skidder weight [kN]			
Q – Težina tereta – Load weight [kN]			
m – Masa tereta – Load mass [t]			
l – Duljina tereta – Load length [m]			
Pristup kotač – tlo – Wheel – soil approach			
Indeks kotača – Wheel numeric		Faktor otpora kotrljanja – Rolling resistance factor	
$N_w = \left(\frac{CI \cdot b \cdot d}{G_w} \right) \left(\frac{1 + 5 \frac{\Delta}{h}}{1 + 3 \frac{b}{d}} \right)$	(11)	$f = \frac{1,0}{N_w} + 0,04 + \frac{0,5 \delta}{\sqrt{N_w}}$	(12)
Faktor bruto vuče – Gross traction factor		Progib pneumatika – Tyre deflection [m]	
$\kappa = 0,88 \left(1 - e^{-0,1 N_w} \right) \left(1 - e^{-7,5 \delta} \right)$	(13)	$\Delta = 0,008 + 0,01 \left[0,365 + \left(\frac{170}{p_i} \right) \right] G_w$	(14)
Nominalni tlak na podlogu – Nominal ground pressure [kPa]		Najmanji konusni indeks – Minimal soil bearing capacity [kPa]	
$NGP = \frac{G_w}{r \cdot b}$	(15)	$CI_{min} = 7,2 NGP$	(16)
Kazalo simbola – Labels:			
CI – Konusni indeks tla – Cone index [kPa]			
G_w – Opterećenje referentnoga kotača – Referent wheel load [kN]			
δ – Klizanje kotača – Wheel slip [%]			
r – Polumjer pneumatika – Tyre radius [m]			
p_i – Tlak zraka u pneumatiku – Tyre inflation pressure [kPa]			
b – Širina pneumatika – Tyre width [m]			
d – Promjer pneumatika – Tyre diameter [m]			
h – Visina presjeka pneumatika – Tyre section height [m]			
Δ – Progib pneumatika – Tyre deflection [m]			

ne obuhvaća izraz faktora neto vuče, već je izražen kao razlika faktora bruto vuče i faktora otpora kotrljanja.

Osnovne sastavnice Brixiusova modela procjene bruto vuče, osiguravaju široku primjenu modela. Konstanta 0,88 ograničava najveći zakretni moment koji kotač postiže u doticaju s tlom do vrijednosti 0,92 (0,88 + 0,04), koja se do-

seže pri većim vrijednostima indeksa kotača, odnosno klizanja. Član modela $e^{-0,1 N_w}$, kontrolira najveću vrijednost zakretnog momenta koji se postiže uz veće vrijednosti klizanja kotača. Indeks kotača, kao i zakretni moment, povećava se: 1) porastom konusnog indeksa (CI), 2) porastom promjera (d) ili širine (b) gume kotača, 3) smanjenjem op-

terećenja kotača (G_w), 4) porastom omjera progiba i visine profila gume (Δ/h), te 5) smanjenjem omjera širine i promjera gume (b/d). U članu modela konstanta 7,5, koja se naziva faktorom hrapavosti podloge, upravlja odnosom omjera zakretnog momenta i klizanja kotača.

Granični nagib terena pri privlačenju drva uz nagib temeljem vučne značajke zasnovan je na vrijednostima opterećenja referentnoga kotača pri različitim uzdužnim nagibima terena i vučenim teretima, kod kojih se izjednačavaju vrijednosti faktora neto vuče izračunatog na osnovi raspodjele opterećenja i Brixsiusovog modela, s ciljem utvrđivanja vrijednosti konusnoga indeksa tla (izraz 17). Na taj način, svakoj vrijednosti uzdužnoga nagiba terena pri vuči određene količine (mase) drva, pridružena je vrijednost najmanjega potrebnoga konusnoga indeksa tla da bi se skider mogao kretati.

$$\frac{H + G_a \sin \alpha}{G_a} = \left[0,88 \left(1 - e^{-0,1 N_w} \right) \left(1 - e^{-7,5 \delta} \right) \right] - \left[\frac{1,0}{N_w} + 0,04 + \frac{0,5 \delta}{\sqrt{N_w}} \right] \Rightarrow CI \quad (17)$$

Predloženi model kretnosti skidera, poštivat će i ograničenja proizašla iz prethodnih istraživanja:

- Rasterećenja prednje osovine vozila (Weise i Nick 2003), gdje najmanje 10 % ukupnog dinamičkog opterećenja treba ostati na prednjoj osovini ($G_1 > 0,1 G_a$), kako bi se omogućilo upravljanje vozilom;
- Preopterećenja stražnje osovine vozila (Horvat 1990), pri čemu opterećenje stražnjega mosta skidera ne smije prijeći ukupnu težinu skidera ($G_2 < G$);
- Najmanje uzdužne stabilnosti skidera (Sever 1980), koje je određeno najmanjim odnosom opterećenja prednje i stražnje osovine ($G_1 : G_2 > 1 : 3,5$), nakon koje dolazi u pitanje uzdužna stabilnost vozila;
- Najmanje nosivosti šumskog tla (Wronsky i Humpreys 1994), zasnovane na smjernici privlačenja drva na okolišno prihvatljiv način (izraz 16),
- Dopuštenog opterećenja pneumatika kotača skidera, s obzirom na preporučeni tlak punjenja zrakom od strane proizvođača (Đuka 2014, Đuka 2018A, Poršinsky i dr. 2020).

3. REZULTATI S RASPRAVOM RESULTS WITH DISCUSSION

Raspodjela opterećenja skidera Ecotrac 55V, s obzirom na privlačenje drva uz nagib terena prikazana je za količinu vučenoga drva raspona mase od 0 t (kretanje neopterećenoga vozila) do 2,5 t (slika 3).

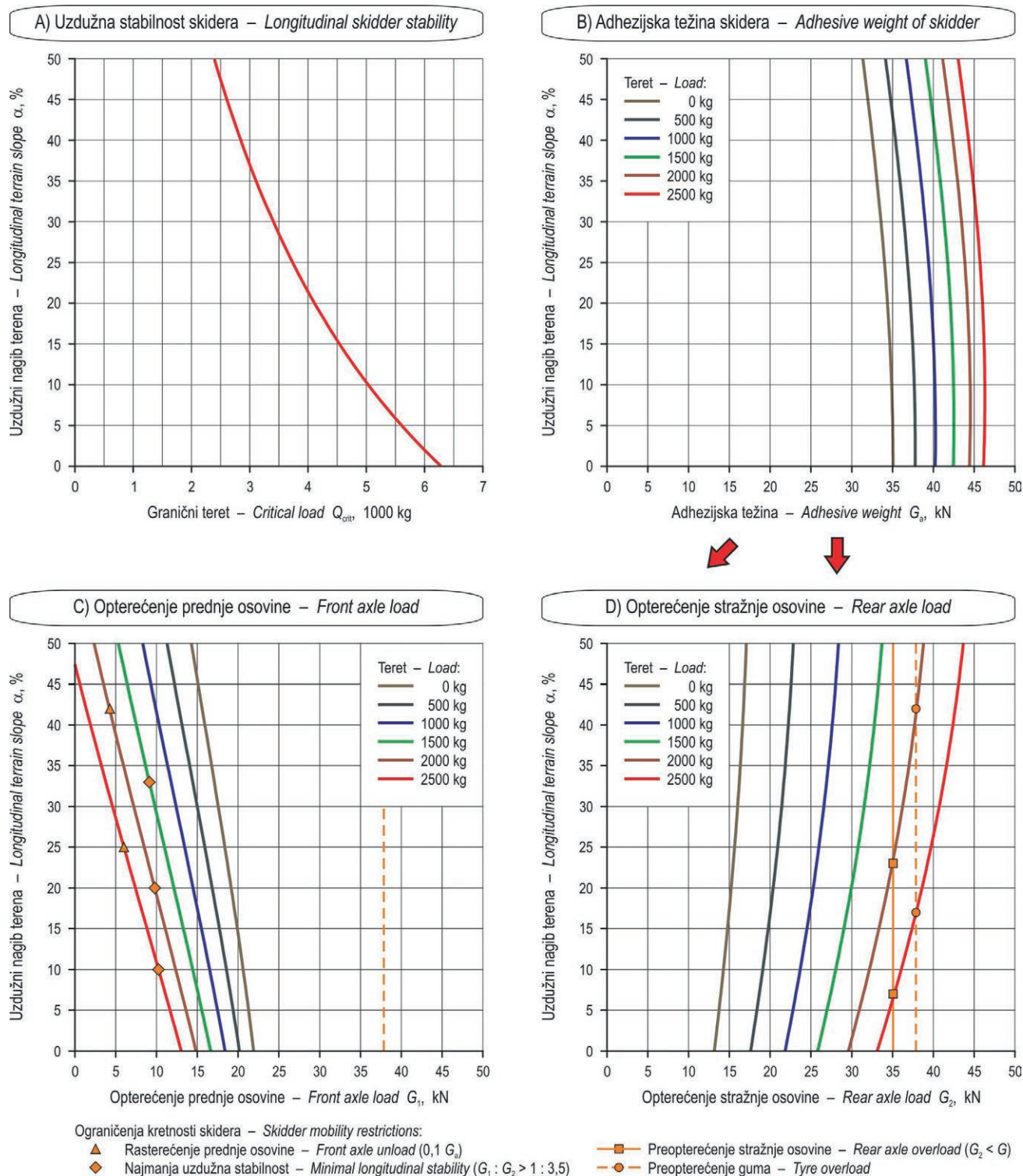
Uzdužna stabilnost vozila (slika 3A), kao jedan od kriterija kretnosti skidera nije ograničavajuće djelovala za analizirani raspon nagiba terena (<50 %) i raspona tereta, osim kod vuče tereta od 2,5 t uz nagib terena >47 %. Promatrajući uzdužnu stabilnost vozila s obzirom na veće količine vučenoga drva (masa >3 t) vidljivo je da će stabilnost biti narušena i pri nižim uzdužnim nagibima terena.

Na vučnu značajku skidera i raspodjelu sila pri privlačenju drva utječe odnos između ostvarenih sila na kotaču i sila koje se opiru njihovom djelovanju, pri čemu iznimno važnu ulogu ima adhezijska težina vozila (slika 3B). Pod adhezijском se težinom (G_a) podrazumijeva zbroj okomitih opterećenja na pogonskim kotačima skidera pri vuči drva (slika 3B). Adhezijska težina ovisi o težini skidera (G), uzdužnome nagibu terena (α) te veličini vertikalne sastavnice sile u užetu (V) na koju ponajprije utječe težina tereta (Q) vučenoga drva. Adhezijska je težina različita od težine neopterećenoga skidera (G) budući da se stražnji most dodatno opterećuje punim iznosom vertikalne sastavnice sile u užetu (V), koja se raspoređuje na stražnje kotače preko horizontalnih valjaka vitla. Povećanje se adhezijske težine skidera ostvaruje odizanjem debljega kraja vučenoga drva od tla, što povećava vrijednost okomite sastavnice sile u užetu, uz smanjenje vrijednosti horizontalne sastavnice sile u užetu (Šušnjar i dr. 2010).

Razumijevanje dinamike raspodjele opterećenja po osovinama skidera s obzirom na težinu (masu) vučenoga drva i veličinu nagiba terena pri privlačenju drva uz nagib (slike 3B i 3C) teško je pojmiti bez shvaćanja djelovanja sile u užetu, odnosno njene okomite sastavnice (V) koja služi za nošenje težine dijela tereta (drva) odignutog od tla, odnosno horizontalne sastavnice (H) koja služi svladavanju otpora vuče dijela težine tereta oslonjenoga na tlo.

Pri privlačenju drva uz nagib, horizontalna sastavnica sile u užetu raste s porastom nagiba terena, odnosno veličinom tereta vučenoga drva (slika 4A), dok vertikalna sastavnica pokazuje znakovit porast samo s porastom veličine tereta (slika 4B), odnosno blagi pad porastom nagiba terena (uslijed smanjenja dijela tereta koji je nošen na užetu, tj. povećava se dio težine tereta koji se oslanja na tlo). Pri vuči drva uz nagib, horizontalna je sastavnica sile u užetu veća od vertikalne, kod tereta mase: 0,5 t kod nagiba >46 %, 1 t kod nagiba >40 %, 1,5 t kod nagiba >35 %, 2 t kod nagiba >29 % te 2,5 tone kod nagiba >23 %.

Povećanjem nagiba terena, ali i mase tereta vučenoga drva pri privlačenju drva uz nagib, dolazi do rasterećenja prednje osovine skidera (slika 3C), odnosno porasta opterećenja stražnje osovine skidera (slika 3D) zbog: 1) rasta usporedne sastavnice težine skidera ($G \sin \alpha$) koja djeluje suprotno od smjera kretanja vozila te 2) rasta horizontalne (usporedne) sastavnice sile u užetu.

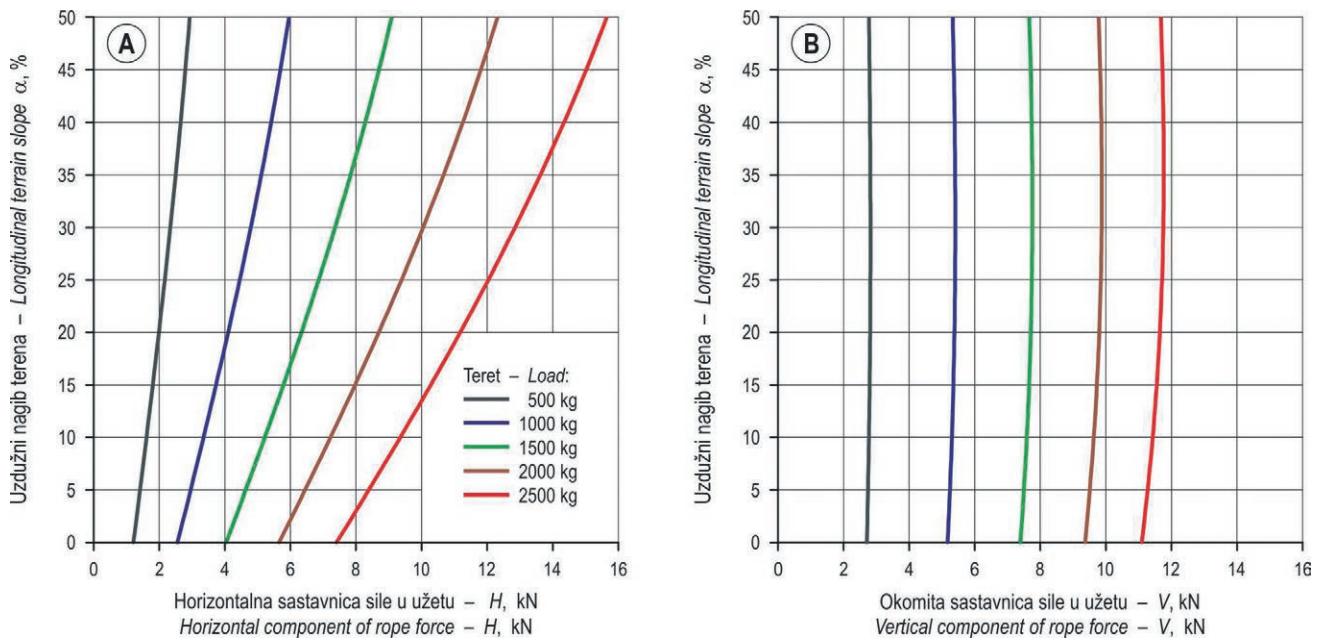


Slika 3. Utjecaj nagiba na granični teret, adhezijsku težinu i njenu raspodjelu po osovima skidera

Fig. 3 Slope influence on critical load, adhesion weight and its distribution on skidder axels

Provedena analiza ukazuje da je i na nagibe terena u kojima su opterećenja prednje i stražnje osovine skidera Ecotrac 55V ovisno o težini (masi) vučenog drva u ravnoteži (slika 3C i 3D). Taj trenutak se događa kod nagiba terena: + 37 % pri kretanju neopterećenog vozila, +8 % pri vuči tereta od 0,5 t, dok je kod vuče svih većih tereta od 1 tone pri privla-

čenju drva uz nagib terena opterećenja stražnja osovina u odnosu na prednju osovina skidera, što je vidljivo na slikama 3C i 3D na kojima su ucrtane i granice kretnosti skidera Ecotrac 55V, koje su proizašle iz prethodnih istraživanja: 1) rasterećenje prednje osovine vozila ($\geq 10\% G_a$), 2) najmanje uzdužne stabilnosti skidera ($G_1 : G_2 > 1 : 3,5$), 3)



Slika 4. Utjecaj nagiba terena i količine vučenoga drva na horizontalnu i vertikalnu sastavnicu sile u užetu

Fig. 4 Load and slope influence on horizontal and vertical components of rope force

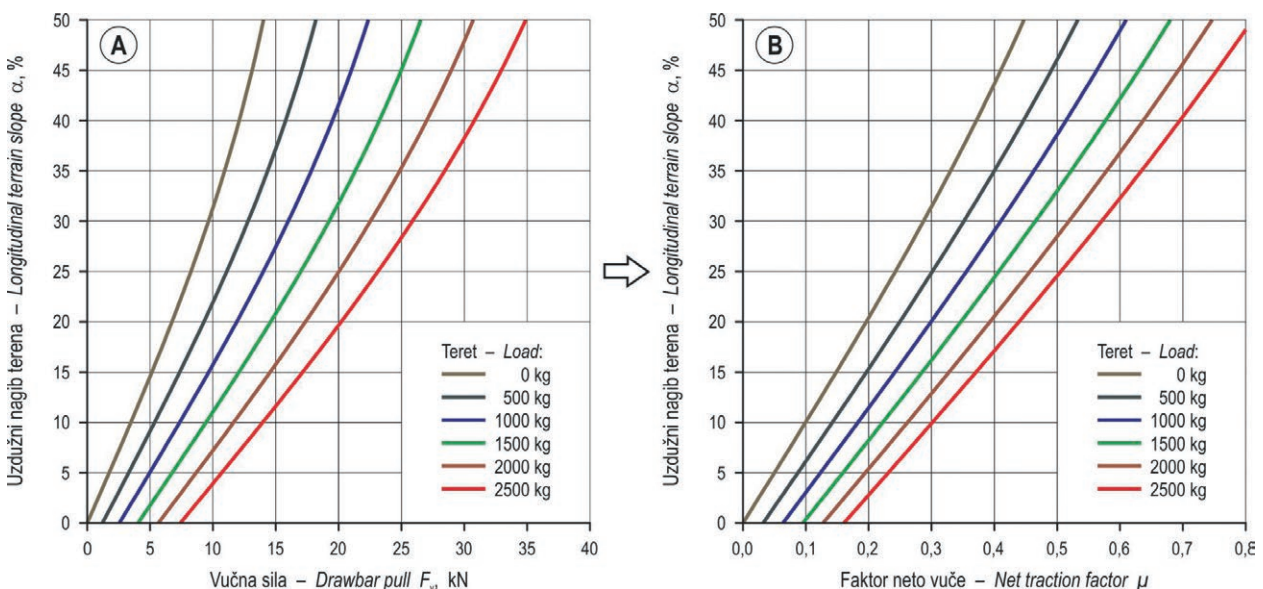
najveće opterećenje stražnje osovine skidera ($G_2 < G$, $G = 35,1$ kN) te 4) dopušteno opterećenje guma 12.4-24 PR12 (1930 kg po gumi kotača pri tlaku punjenja guma zrakom od 350 kPa, odnosno 37,87 kN po osovine skidera). Navedeni kriteriji kretnosti skidera, različito su djelovali – ograničavali, područje rada skidera ovisno o nagibu terena i smjeru kretanja vozila, odnosno količini (masi) vučenoga drva.

Kriterij najmanje opterećenje prednje osovine skidera ($\geq 10\% G_a$), nije iskazao djelovanje kod tereta mase od 0 do

1,5 t. Pri vuči tereta od 2 t do rasterećenja prednje osovine skidera dolazi kod nagiba terena $>42\%$ te tereta od 2,5 t kod nagiba $>30\%$.

Kriterij najmanja uzdužna stabilnost skidera ($G_1 : G_2 > 1 : 3,5$), nije iskazao djelovanje kod tereta od 0 i 0,5 tona. Pri vuči tereta od 1 tone pojavljuje se kod nagiba $>51\%$, tereta od 1,5 tone kod nagiba $>33\%$, tereta od 2 tone kod nagiba $>20\%$ te kod tereta od 2,5 tone kod nagiba $>10\%$.

Kriterij najveće opterećenje stražnje osovine skidera ($G_2 < G$), nije iskazao djelovanje kod tereta od 0 do 1,5 t. Pri vuči



Slika 5. Utjecaj tereta i nagiba terena na vučnu silu te faktor neto vuče

Fig. 5 Load and slope influence on traction force and drawbar pull (net traction) factor

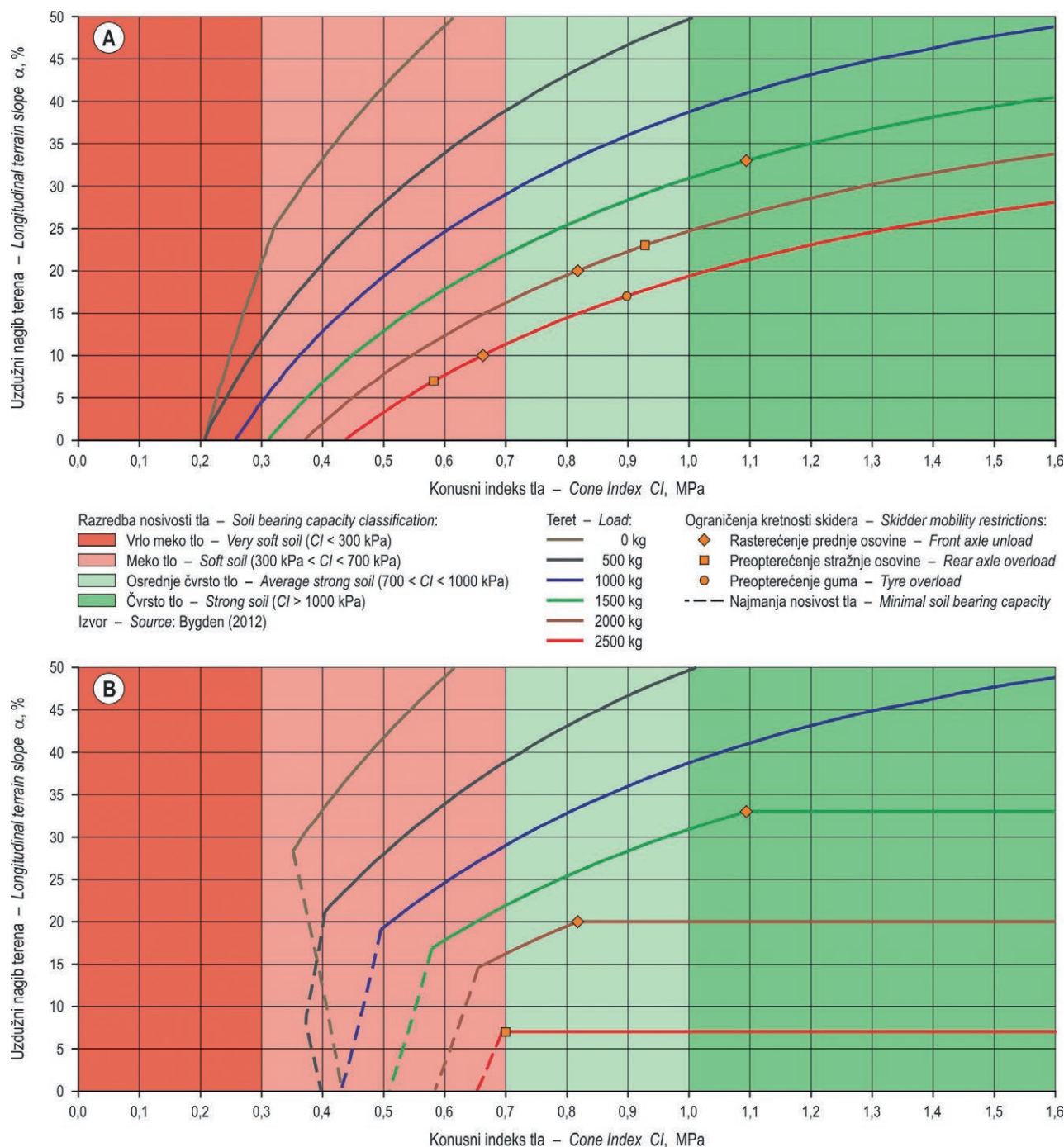
tereta od 2 t do preopterećenja stražnje osovine dolazi kod nagiba terena >23 %, a tereta od 2,5 t kod nagiba >7 %.

Kriterij najveće dopušteno opterećenje pneumatika 12.4-24 (37,87 kN po osovini), nije iskazao djelovanje kod tereta od 0 do 1,5 t. Pri vuči tereta od 2 t do propterećenja guma kotača stražnje osovine skidera dolazi kod nagiba terena >42% te tereta od 2,5 t kod nagiba >17 %.

Vučna se sila skidera koristi za svladavanje nagiba terena i vučnog otpora stvorenog na mjestu dodira tereta s tlom.

Dinamika raspodjele vučne sile skidera s obzirom na masu tereta i veličinu nagiba terena prikazana je na slici 5A.

Pri privlačenju uz nagib terena vučna sila treba svladati vučne otpore dijela tovara oslonjenog na tlo (H), ali i otpor horizontalne sastavnice težine skidera ($G \sin \alpha$) koja povlači vozilo niz nagib terena. S rastom nagiba terena, brži je rast vučne sile s povećanjem mase vučenoga drva (slika 5A), uslijed povećanja vrijednosti horizontalnih sastavnica sile u užetu (vučnog otpora) i težine skidera koje vučna sila treba svladati.



Slika 6. Granični nagib kretnosti vozila temeljem vučne značajke (A) i raspon kretnosti skidera (B)

Fig. 6 Gredeability of the vehicle based on its traction performance (A) and Skidder mobility range (B)

Na osnovi podataka dinamičke raspodjele vučne sile s obzirom na nagib terena i količinu (masu) vučenoga drva izračunate su vrijednosti faktora neto vuče (slika 5B) koji imaju isti tijek kao i vučna sila.

Unutar modela kretnosti skidera, rezultati simulacije raspodjele osovinskih opterećenja skidera (slike 3C i 3D), horizontalne (slika 4A) i vertikalne (slika 4B) sastavnice sile u užetu, vučne sile (slika 5A) i faktora neto vuče (slika 5B) u ovisnosti o nagibu terena i masi vučenoga drva su u skladu sa spoznajama rezultata prethodnih istraživanja (Horvat 1990, Sever 1980, Šušnjar 2005, Šušnjar i Horvat 2006, Tomašić 2007, Tomašić i dr. 2007, Tomašić i dr. 2009).

Na temelju podataka neto vuče za privlačenje drva uz nagib terena (slika 5B) i Brixsius-ovog modela procjene vučnih značajki za klizanje od 20 % (najveća korisnost kotača uz najmanji otpor kotrljanja), povezana su dva pristupa kretnosti vozila: 1) vozilo – teren (raspodjela sila pri privlačenju drva) i 2) kotač – tlo (procjena vučnih značajki temeljem indeksa kotača). Na navedeni način izračunati su granični nagibi kretnosti vozila na temelju Brixsiusove vučne značajke za privlačenje drva uz nagib terena (slika 6A). Radi lakšega razumjevanja, na slici 6 vrijednosti konusnoga indeksa tla raščlanjeni su u četiri razreda nosivosti (vrlo meko tlo, meko tlo, osrednje čvrsto tlo, čvrsto tlo) šumskog tla (Bygden 2012). Za navedenu razredbu nosivosti tla, može se zaključiti da odgovara uvjetima hrvatskoga šumarstva što potvrđuju rezultati mjerenja konusnoga indeksa tla prethodnih istraživanja (Đuka 2014, Đuka i dr. 2018B, Poršinsky 2005, Poršinsky i dr. 2006, Šušnjar 2005, Tomašić 2007, Zorić i dr. 2018).

Granični nagib kretnosti skidera Ecotrac 55V pri privlačenju drva uz nagib terena raste s porastom vrijednosti konusnoga indeksa tla (nosivosti tla), a za iste vrijednosti konusnoga indeksa tla opada s porastom mase (obujma) vučenoga drva (slika 6A). Za raspon nagiba terena <50% te pri vuči tereta drva mase <1 t, analiza graničnog nagiba kretnosti skidera Ecotrac 55V ukazala da je ograničena isključivo vučnom značajkom vozila i nosivošću podloge.

Ograničenja Severa (1980) te Weise i Nicka (2003) predstavljaju problem rasterećenja prednje osovine skidera pri privlačenju drva uz nagib terena, koji su autori predstavili sa različitim idejama (sa stajališta upravljivosti, odnosno uzdužne stabilnosti vozila). Analizirajući rezultate simulacije raspodjele osovinskih opterećenja (slika 3C, ali i 6A), uočljivo je da ograničenje Weise i Nicka (2003) nije značajno za privlačenje drva skiderom uz nagib terena jer je ograničenje Severa (1980) ukazalo djelovanje pri nižim nagibima terena, ovisno o masi vučenoga drva. Upravo najmanja uzdužna stabilnost skidera ($G_1 : G_2 > 1 : 3,5$), na čvrstom tlu ograničila je privlačenje mase vučenog drva od 1,5 tona na nagib terena od 33 %, odnosno na osrednje čvrstom tlu privlačenje mase vučenog drva od 2 tone na nagib terena od 20 %.

Simulacija kretnosti skidera pri privlačenju drva mase >2,5 t uz nagib terena (slika 6A), ukazala je na djelovanje više ograničenja privlačenja drva: 1) preopterećenja stražnje osovine skidera (Horvat 1990) kod nagiba terena >7 %, 2) najmanje uzdužne stabilnosti skidera (Sever 1980) kod nagiba terena >10 % te 3) dopuštenog opterećenje guma 12.4-24 PR12 (1930 kg po gumi kotača) kod nagiba terena >17 %, čime je privlačenje ovakvih tereta uz nagib značajno ograničeno te se ne preporuča. Iz navedenoga, može se zaključiti da je sa stajališta kretnosti opremanje skidera Ecotrac 55V pneumaticima 12.4-24 PR12 dobro, a kriterij preopterećenja stražnje osovine skidera (Horvat 1990) svakako treba pojmiti kao glavni ograničavajući faktor privlačenja većih tereta drva skiderom uz nagib terena u cilju otklanjanja mogućih oštećivanja skidera u njihovome uporabnom ili amortizacijskom razdoblju. Svakako bi gume kotača skidera trebalo opremiti i lancima, čime bi se osiguralo klizanje kotača u optimalnim granicama (20 %), što bi se znakovito odrazilo na proizvodnost, smanjenje sabijanja tla, ali i smanjenje potrošnje goriva (Poršinsky i dr. 2020).

Najmanja nosivost šumskog tla (Wronsky i Humpreys 1994), kao ograničenje zasnovano na smjernici privlačenja drva na okolišno prihvatljiv način ($CI_{min} > 7,2 NGP$), jednostavno je utvrđljiv parametar na osnovi nominalnog tlaka referentnog kotača šumskog vozila (Poršinsky i dr. 2011), koji je pri opremanju skidera Ecotrac 55V standardnim gumama (12.4-24 PR12) ovisno o masi vučenoga drva, ukazao na najmanje vrijednosti konusnoga indeksa tla (slika 6B). Iako je granični nagib kretnosti skidera (slika 6A) ukazao na mogućnost privlačenja drva mase tovara <1 t na vrlo mekome tlu ($CI = 250$ kPa) do nagiba terena od 5 %, sa stajališta okolišne pogodnosti u cilju smanjenja oštećivanja tla vuča drva uz nagib terena teretima koji osiguravaju djelotvorno korištenje skidera Ecotrac 55V (1,5 t – 2 t) vezana je uz nosivost tla >500 kPa (slika 6B).

Na primjeru skidera Ecotrac 55V (slika 6B), predloženi model procjene raspona kretnosti skidera ovisno o nagibu terena te količini (masi) vučenog drva, pri vuči tereta od 1,5 t potvrdio je opće prihvaćeni raspon kretnosti šumskih vozila od 33% nagiba (MacDonald 1999) te pri vuči od 2 t potvrdio je i smjernice o dopuštenim uzdužnim nagibima traktorskih putova (<20 %). Pri većim nagibima sekundarnih šumskih prometnica, raste pojavnost sabijanja tla (Jourgholami i dr. 2020A, Solgi i dr. 2019B) te neželjene pluvijalne erozije tla (Jourgholami i dr. 2020B, Solgi i dr. 2019A).

Posebno valja istaknuti da prikazana simulacija modela kretnosti skidera pri privlačenju drva uz nagib terena opisuje dio kretnosti skidera, koju valja nadopuniti s simulacijom kretnosti skidera niz nagib terena (Đuka 2014, Đuka i dr. 2016, Đuka i dr. 2018A), ali i sa ostalim pokazateljima

prohodnosti vozila, poput prednjeg, središnjeg i stražnjeg kuta prohodnosti te poprečnog i uzdužnog polumjera prohodnosti (Poršinsky i dr. 2016) sa ciljem izrade alata za ocjenjivanja pogodnosti šumskih vozila prilikom postupaka njihove nabavke, odnosno planiranja izvođenja radova pridobivanja drva.

4. UMJESTO ZAKLJUČKA INSTEAD OF THE CONCLUSION

Na primjeru skidera s vitlom, prikazan je simulacijski model procjene kretnosti šumskih vozila pri privlačenju drva uz nagib terena. Predstavljeni model omogućuje poimanje promjena vertikalnih, horizontalnih, frikcijskih i trakcijskih sila pri privlačenju drva skiderom uslijed širokih raspona promjena utjecajnih čimbenika: 1) količine vučenoga drva, 2) nagiba terena te 3) uvjeta nosivosti podloge iskazane konusnim indeksom tla. Ugradnjom kriterija/ograničenja privlačenja drva proisteklih iz prethodnih istraživanja, model kretnosti skidera dobiva na uporabnome značenju, odnosno teorijski pristup približava stvarnosti privlačenja drva. Važnost prikazanoga modela procjene kretnosti svakako se ogleda u činjenici da je moguće, sa zadovoljavajućom točnošću, doći do bitnih spoznaja vezanih uz kretnost šumskih vozila bez dugotrajnih i skupih terenskih istraživanja, čija je primjenjivost vezana za istraživano šumsko vozilo i uvjete u kojima su mjerenja vršena.

Prikazani model kretnosti je zasnovan na lako mjerljivim ili dostupnim podacima šumskih vozila (masa, gabaritne dimenzije), ali i jednom teže mjerljivom, odnosno nedostupnom podatku iz kataloga proizvođača šumskih vozila – položaju točke težišta, koji u postupku nabava od proizvođača treba dodatno zatražiti. Isto tako, izrada modela kretnosti skidera zahtijeva poznavanje vrijednosti faktora privlačenja i raspodjele mase tereta u ovisnosti o utjecajnim čimbenicima privlačenja drva, kao što su: udužni nagib vlake (terena) i smjer nagiba, masa (ili obujam) tereta, duljina vučenoga tereta. U slučaju njihovoga nepoznavanja preporuča se korištenje njihovih vrijednosti u iznosu od 0,5, što je u skladu s prosječnim vrijednostima utvrđenih mjerenjima iz više prethodnih objava.

Dopunjavanjem prikazanog modela, kriterijima/ograničenjima privlačenja drva niz nagib terena (Đuka 2014, Đuka i dr. 2016, Đuka i dr. 2018A): 1) Graničnog nagiba terena kod kojeg vučna sila poprima vrijednost nula (početak kočenja motorom vozila) te 2) Graničnog nagiba terena pri kojem vučeno drvo počinje gurati skider (određeno trenutkom kada horizontalna sastavnica sile u užetu poprimi vrijednost nula), model procjene kretnosti skidera dobio bi šire značenje uslijed primjenjivosti na oba smjera privlačenja drva.

U cilju privlačenja drva na djelotvoran, siguran i okolišno prihvatljiv način, prikazani model procjene kretnosti ski-

dera svoju primjenu će naći kod: 1) šumarskih stručnjaka kao alat ocjenjivanja pogodnosti šumskih vozila prilikom njihove nabavke, odnosno planiranja mehaniziranog privlačenja drva sa ciljem povećanja djelotvornosti sustava, ali i smanjivanja troškova popravaka i održavanja strojeva, te 2) studenata šumarskih fakulteta tijekom njihovoga školovanja.

ZAHVALA ACKNOWLEDGEMENT

Istraživanje je provedeno u sklopu projekta »Očuvanje sastojina poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl) u Republici Hrvatskoj sa naglaskom na biotske štetnike« koji financira Ministarstva poljoprivrede Republike Hrvatske.

LITERATURA REFERENCES

- Bennett, W.D., 1962: Forces Involved in Skidding Full Trees and Tree-length Loads of Pulpwood. Pulp and Manager Magazine of Canada, Woodland Section Index No. 2162: 322–327.
- Brixius, W.W., 1987: Traction prediction equations for bias ply tires. ASAE Paper No. 87–1622: 31p.
- Bygden, G., 2012: GIS for Operative Support. In: Global Perspectives on Sustainable Forest Management (ed: C. A. Okia), In Tech, 217–222.
- Đuka, A., 2014: Razvoj modela prometnosti terena za planiranje privlačenja drva skiderom. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–303.
- Đuka, A., S., Grigolato, I., Papa, T., Pentek, T., Poršinsky, 2017: Assessment of timber extraction distance and skid road network in steep karst terrain. iForest – Biogeosciences and Forestry 10: 886–894.
- Đuka, A., T., Pentek, D., Horvat, T., Poršinsky, 2016: Modelling of Downhill Timber Skidding: Bigger Load – Bigger Slope. Croat. j. for. eng. 37(1): 139–150.
- Đuka, A., T., Poršinsky, T., Pentek, Z., Pandur, D., Vusić, I., Papa, 2018A: Mobility Range of a Cable Skidder for Timber Extraction on Sloped Terrain. Forests 9(9): 526.
- Đuka, A., T., Poršinsky, T., Pentek, Z., Pandur, D., Janeš, I., Papa, 2018B: Soil Measurements in the Context of Planning Harvesting Operations and Variable Climatic Conditions. SEEFOR 9(1): 61–71.
- Eichrodt, A.W., H.R., Heinimann, 2001: Mobility of Timber Harvesting Vehicles. Proceedings »Appalachian Hardwoods: Managing Change«, Council on Forest Engineering (COFE), July 15–18, 2001, Snowshoe, USA, 1–6.
- Eichrodt, A.W., 2003: Development of a Spatial Trafficability Evaluation System. PhD Thesis, ETH Zurich, 1–165.
- Hassan, A.E., 1977: Trafficability Study of a Cable Skidder. Transactions of the ASAE 20(1): 26–29.
- Hassan, A.E., A.L., Gustafson, 1983: Factors Affecting Tree Skidding Forces. Transactions of the ASAE 81–1586: 47–53.
- Hassan, A.E., D.L., Sirois, 1983: Weight Distribution Characteristics of Semi-Suspended Trees. Transactions of the ASAE 83–2605: 1291–1297.

- Holzfeind, T., C., Kanzian, K., Stampfer, F., Holzleitner, 2019: Assessing Cable Tensile Forces and Machine Tilt of Winch-Assisted Forwarders on Steep Terrain under Real Working Conditions. *Croat. j. for. eng.* 40(2): 281–296. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2019.621>
- Horvat, D., 1990: Predviđanje vučnih karakteristika šumskog zglobnog traktora – skidera. *Meh. šumar.* 15(7–8): 113–118.
- ISO 13861, 2000: Machinery for forestry – Wheeled skidders – Terms, definitions and commercial specifications, 1–9.
- Jourgholami, M., S., Khajavi, E.R., Labelle, 2020A: Recovery of Forest Soil Chemical Properties Following Soil Rehabilitation Treatments: an Assessment Six Years after Machine Impact. *Croat. j. for. eng.* 41(1): 163–175. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2020.620>
- Jourgholami, M., M., Ahmadi, F., Tavankar, R., Picchio, 2020B: Effectiveness of Three Post-Harvest Rehabilitation Treatments for Runoff and Sediment Reduction on Skid Trails in the Hircanian Forests. *Croat. j. for. eng.* 41(2): 309–324. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2020.732>
- Kajgana, V., 2014: Analiza kretnosti skidera Ecotrac 55V. Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–67.
- Labelle, E.R., K.J., Lemmer, 2019: Selected Environmental Impacts of Forest Harvesting Operations with Varying Degree of Mechanization. *Croat. j. for. eng.* 40(2): 239–257. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2019.537>
- Lubello, D., 2008: A rule based SDSS for integrated forest harvesting planning. PhD Thesis, Università degli studi di Padova, Padova, 1–213.
- MacDonald, A.J., 1999: Harvesting Systems and Equipment in British Columbia. *FERIC, Handbook No., HB-12*: 1–197.
- Marčeta, D., V., Petković, D., Ljubojević, I., Potočnik, 2020: Harvesting System Suitability as Decision Support in Selection Cutting Forest Management in Northwest Bosnia and Herzegovina. *Croat. j. for. eng.* 41(2): 251–265. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2020.744>
- Mellgren, P.G., 1980: Terrain Classification for Canadian Forestry. *Canadian Pulp and Paper Association*, 1–13.
- Poršinsky, T., 2005: Djelotvornost i ekološka pogodnost forvardera Timberjack 1710 pri izvoženju oblovine iz nizinskih šuma Hrvatske. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–170.
- Poršinsky, T., D., Horvat, 2005: Indeks kotača kao parametar procjene okolišne prihvatljivosti vozila za privlačenje drva. *Nova meh. šumar.* 26: 25–38.
- Poršinsky, T., M., Sraka, I., Stankić, 2006: Comparison of Two Approaches to Soil Strength Classifications. *Croat. j. for. eng.* 27(1): 17–26.
- Poršinsky, T., I., Stankić, A., Bosner, 2011: Ecoefficient Timber Forwarding Based on Nominal Ground Pressure Analysis. *Croat. j. for. eng.* 31(1): 345–356.
- Poršinsky, T., M., Šušnjar, A., Đuka, 2012: Određivanje faktora raspodjele mase tereta i privlačenja. *Nova meh. šumar.* 33: 35–44.
- Poršinsky, T., M., Moro, A., Đuka, 2016: Maneuverability Characteristics of Cable Skidder. *Šum. list* 140(5–6): 259–272.
- Poršinsky, T., J., Matas, D., Horvat, A., Đuka, 2020: Pneumatski kotača šumskih vozila (Tyres of Forestry Vehicles). *Šum. list* 144 (9–10): 509–522. <https://doi.org/10.31298/sl.144.9-10.7>
- Saarihahti, M., 2002: Soil interaction model. Project deliverable D2 (Work package No. 1) of the Development of a Protocol for Ecoefficient Wood Harvesting on Sensitive Sites (ECOWOOD). EU 5th Framework Project (Quality of Life and Management of Living Resources) Contract No. QLK5-1999-00991 (1999–2002), 1–87.
- Sever, S., 1980: Istraživanje nekih eksploatacijskih parametara traktora kod privlačenja drva. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1–301.
- Solgi, A., R., Naghdi, E.R., Labelle, F.K., Behjou, V., Hemmati, 2019A: Evaluation of Different Best Management Practices for Erosion Control on Machine Operating Trails. *Croat. j. for. eng.* 40(2): 319–326. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2019.532>
- Solgi, A., R., Naghdi, E.K., Zenner, P.A., Tsioras, V., Hemmati, 2019B: Effects of Ground-Based Skidding on Soil Physical Properties in Skid Trail Switchbacks. *Croat. j. for. eng.* 40(2): 341–350. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2019.535>
- Šušnjar, M., 2005: Istraživanje međusobne ovisnosti značajki tla traktorske vlake i vučne značajke skidera. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–146.
- Šušnjar, M., D., Horvat, 2006: Dinamičko opterećenje kotača skidera pri privlačenju drva. *Glas. šum. pokuse, posebno izd.*, 5: 601–616.
- Šušnjar, M., A., Bosner, T., Poršinsky, 2010: Vučne značajke skidera pri privlačenju drva niz nagib. *Nova meh. šumar.* 31: 3–14.
- Tomašić, Ž., 2007: Istraživanje tehničko-eksploatacijskih značajki skidera za prorede. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–316.
- Tomašić, Ž., D., Horvat, M., Šušnjar, 2007: Raspodjela opterećenja kotača skidera pri privlačenju drva. *Nova meh. šumar.* 28: 27–36.
- Tomašić, Ž., M., Šušnjar, D., Horvat, Z., Pandur, 2009: Forces Affecting Timber Skidding. *Croat. j. for. eng.* 30(2): 127–139.
- Tomašić, Ž., 2012: Razvoj tehnologije i tehničkih sredstava u pridobivanju drva s obzirom na posebnosti šuma i šumarstva u Republici Hrvatskoj. *Nova meh. šumar.* 33: 53–67.
- Weise, G., L., Nick, 2003: Determining the performance and the environmental impact of forest machines – Classification numbers and performance diagrams. *Proceedings of Austro2003 – High Tech Forest Operations for Mountainous Terrain*, October 5–9, 2003, Schlägl, Austria, University of Natural Resources and Applied Life Sciences Vienna, CD-ROM, 1–10.
- Wronski, E.B., N., Humphreys, 1994: A method for evaluating the cumulative impact of ground-based logging systems on soils. *Journal of Forest Engineering* 5(2): 9–20.
- Zorić, M., Z., Pandur, Ž., Šantek, M., Šušnjar, 2011: Ocjena indeksa kotača kao pokazatelja okolišne pogodnosti forvardera. *Nova meh. šumar.* 32: 5–13.

SUMMARY

Based on the dimensional characteristics of the cable skidder (dimensions, weight, position of the center of gravity), a model was developed for estimating the mobility of the skidder during timber extraction (skidding) uphill in a safe, efficient and environmentally sound way. The model is based on the limiting slope of skidders' mobility depending on the traction performance of the vehicle, which connects two research approaches, 1) vehicle – terrain (distribution of forces depending on the slope and load) and 2) wheel – soil (traction performance based on wheel numeric). The model is in compliance with a number of restrictions arising from previous research: i) unloading the front axle of the vehicle, ii) overloading the rear axle of the vehicle, iii) minimum longitudinal stability of the skidder, iv) minimal soil bearing capacity and v) allowed tyre load capacity.

The results of the mobility of the cable skidder Ecotrac 55V equipped with 12.4-24 tires during skidding timber uphill, differ significantly with regard to the load-bearing capacity and the load size. For smaller loads, weighing up to 1 ton, the mobility of the skidder is determined by the criteria/limits of the skidder gradeability (traction performance) and environmental benefits (minimum load-bearing capacity). As the weight of the load increases, apart from the load-bearing capacity, the decisive limiting factor of mobility becomes the load ratio of the front and rear axles of the vehicle ($> 1: 3.5$), which limits the mobility of the skidder on slopes $<33\%$ for loads of 1.5 tons, $<20\%$ for 2 tons. At a load of 2.5 tons, the mobility of the skidder is affected by the criteria of the maximum allowable load of the rear axle of the skidder on slopes $<7\%$.

KEY WORDS: cable skidder, uphill skidding, gradeability, traction performance

FOTOSINTETSKI ODGOVOR BUKOVIH KLIJANACA NA SUBOPTIMALNU ISHRANJENOST S MINERALNIM HRANIVIMA

PHOTOSYNTHETIC RESPONSE OF COMMON BEECH SEEDLINGS TO SUBOPTIMAL MINERAL NUTRITION

Krunoslav SEVER¹, Dimitrije Damir SVILIČIĆ², Tomislav KARAŽIJA³, Boris LAZAREVIĆ³ i Željko ŠKVORC¹

SAŽETAK

U ovom radu prikazani su rezultati izmjere parametara koji opisuju fotosintetsku aktivnost bukovih klijanaca pod utjecajem suboptimalne ishranjenosti s mineralnim hranivima. Cilj rada bio je približiti ovu problematiku šumarskoj praksi kroz raspravu dobivenih rezultata u kontekstu dosadašnjih spoznaja o utjecaju mineralne ishrane na fotosintetski proces šumskoga drveća. U rano proljeće 2019. godine bukovi klijanci porijeklom iz jedne prirodne mješovite sastojine hrasta kitnjaka i obične bukve presađeni su u sterilni supstrat (agropertil). Nakon presađnje redovito su zalijevani (tretirani) kompletnom hranivom otopinom (KO tretman), odnosno hranivim otopinama u kojima su izostavljeni dušik (–N tretman), fosfor (–P tretman), magnezij (–Mg tretman) ili željezo (–Fe tretman). Na šest klijanaca unutar svakog od pet prethodno opisanih tretmana tijekom vegetacijskog razdoblja 2019. godine redovito su mjereni sljedeći parametri: stopa fotosinteze (A), provodljivost puči (g_s), intercelularna koncentracija CO_2 (c_i), indeks relativnog sadržaja klorofila u lišću (CCI) te indeks fotosintetske učinkovitosti (PI_{ABS}). Svi parametri bili su lošiji kod klijanaca iz –N, –P i –Mg tretmana u odnosu na klijance iz KO tretmana. Takav rezultat vjerojatno proizlazi iz fizioloških funkcija N, P i Mg koji sudjeluju u građi proteina i enzima, prometu i skladištenju energije te građi klorofila, što je sve skupa neophodno za uredno funkcioniranje cjelokupnog fotosintetskog procesa. Unatoč važnoj ulozi Fe u gotovo svim životnim procesima biljaka pa tako i fotosintezi svi mjereni parametri kod klijanaca iz –Fe i KO tretmana bili su podjednaki. Međutim, za razliku od N, P i Mg koji pripadaju skupini makrohraniva, Fe pripada skupini mikrohraniva, čije su koncentracije u biljnom tkivu relativno niske. Prema tome, moguće je pretpostaviti da su istraživani klijanci iz tla prirodne sastojine i/ili iz rezervi u sjemenu tijekom početne faze svoga razvoja uspjeli usvojiti i/ili mobilizirati dovoljnu količinu Fe koja im je bila dostatna za normalno funkcioniranje tijekom cijelog vegetacijskog razdoblja, bez obzira na kasniju primjenu tretmana. S obzirom na ovakav rezultat, inicijalno praćenje parametara fotosintetske aktivnosti bit će nastavljeno tijekom sljedećih nekoliko vegetacijskih razdoblja. U tom periodu planira se započeti s praćenjem dinamike vegetativnoga rasta, fenologije listanja i razvoja vizualnih simptoma pri suboptimalnoj ishranjenosti obične bukve s mineralnim hranivima s ciljem dodatnog približavanja ove problematike šumarskoj praksi.

KLJUČNE RIJEČI: *Fagus sylvatica*, obična bukva, klijanci, fotosinteza, mineralna hraniva

UVOD INTRODUCTION

Obična bukva (*Fagus sylvatica* L.) najrasprostranjenija je vrsta šumskoga drveća na području čitave Europe (Elle-

nberg i Leuschner 2014). U skladu s tim, obična bukva na području Republike Hrvatske zauzima polovicu ukupne šumske površine (Trinajstić 2003) na kojoj tvori cijeli niz čistih i/ili mješovitih šumskih sastojina (Vukelić i Baričević

¹ Doc. dr.sc. Krunoslav Sever, Prof. dr. sc. Željko Škvorc, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za šumarsku genetiku, dendrologiju i botaniku. Svetošimunska 25, HR 10000 Zagreb

² Dimitrije Damir Sviličić univ. bacc. ing. silv. Ribarska 4, 21480 Vis

³ Doc. dr. sc. Tomislav Karažija, Doc. dr. sc. Boris Lazarević, Agronomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu. Zavod za ishranu bilja. Svetošimunska 25, HR-10000 Zagreb
Korespondencija: Krunoslav Sever, e-mail: ksever@sumfak.hr

2003) s visokom ekonomskom, ekološkom i socijalnom vrijednošću (Prpić 2003). U posljednje vrijeme kvalitetno gospodarenje šumskim sastojinama za šumarsku struku postaje sve veći izazov, prvenstveno zbog negativnog utjecaja sveprisutnih klimatskih promjena na opstanak mladog naraštaja šumskog drveća (Saccone i dr. 2009), što uvelike remeti prirodnu obnovu šumskih sastojina (Anić i Mikac 2008, Simon i dr. 2017). Usljed toga, a s ciljem potpomaganja prirodne obnove šumskih sastojina tijekom posljednjih 30-ak godina u Republici Hrvatskoj rasadnička proizvodnja sadnog materijala svih vrsta šumskoga drveća, uključujući i običnu bukvu konstantno raste (Matić i dr. 2003, Roth i dr. 2005, Grahovac-Tremški 2018). Uspjeh potpomognute obnove šumskih sastojina često puta ovisi o kvaliteti sadnog materijala uzgojenog u šumskim rasadnicima (Haase i dr. 2006). Kvalitetan sadni materijal podrazumijeva sadnice dobro razvijenoga korijena i odgovarajuće visine (Haase 2007, Drvodelić i Oršanić 2019), što se u šumskim rasadnicima postiže poduzimanjem čitavog niza stručnih postupaka tijekom uzgoja sadnog materijala, uključujući njegovu prihranu s mineralnim gnojivima (Haase i dr. 2006, Seletković 2006, Schmal i dr. 2011, Uscola i dr. 2015). Prema rezultatima dosadašnjih istraživanja, kao i prema praktičnim iskustvima, jasno je da adekvatna prihrana sadnog materijala s odgovarajućim dozama i formulacijama mineralnih gnojiva uvelike potiče njegov vegetativni rast, kako nadzemnog tako i podzemnog dijela (Potočić i dr. 2009, Seletković i dr. 2011, Škvorc i dr. 2012, Sever i dr. 2016).

Međutim, na umu uvijek treba imati da mineralna hraniva na vegetativni rast i produkciju biomase utječu posredstvom fotosinteze, alokacije i stehiometrijskog efekta (Sardans i dr. 2015, Gessler i dr. 2017). To znači da mineralna hraniva koja usvoji iz tla, biljka najprije koristi za sintezu cijelog niza kemijskih spojeva (aminokiselina, nukleinskih kiselina, fosfolipida, vitamina, hormona, biljnih pigmenata i dr.) nužnih za normalno strukturiranje svog organizma, što je osnovni preduvjet neometanog odvijanja svih fizioloških procesa u biljci, uključujući i fotosintezu (Taiz i Zeiger 2010). U skladu s tim, brzina produkcije i/ili količina produciranih ugljikohidrata od strane biljaka, uključujući i šumsko drveće (u njezinu fotosintetskom procesu) pozitivno korelira s njihovim vegetativnim rastom i produkcijom ukupne biomase (Woodruff i Meinzer 2011), te njihovom sveukupnom otpornošću na biotski i/ili abiotski stres (Haase i dr. 2006, Schmal i dr. 2011, Villar-Salvador i dr. 2013, Uscola i dr. 2015).

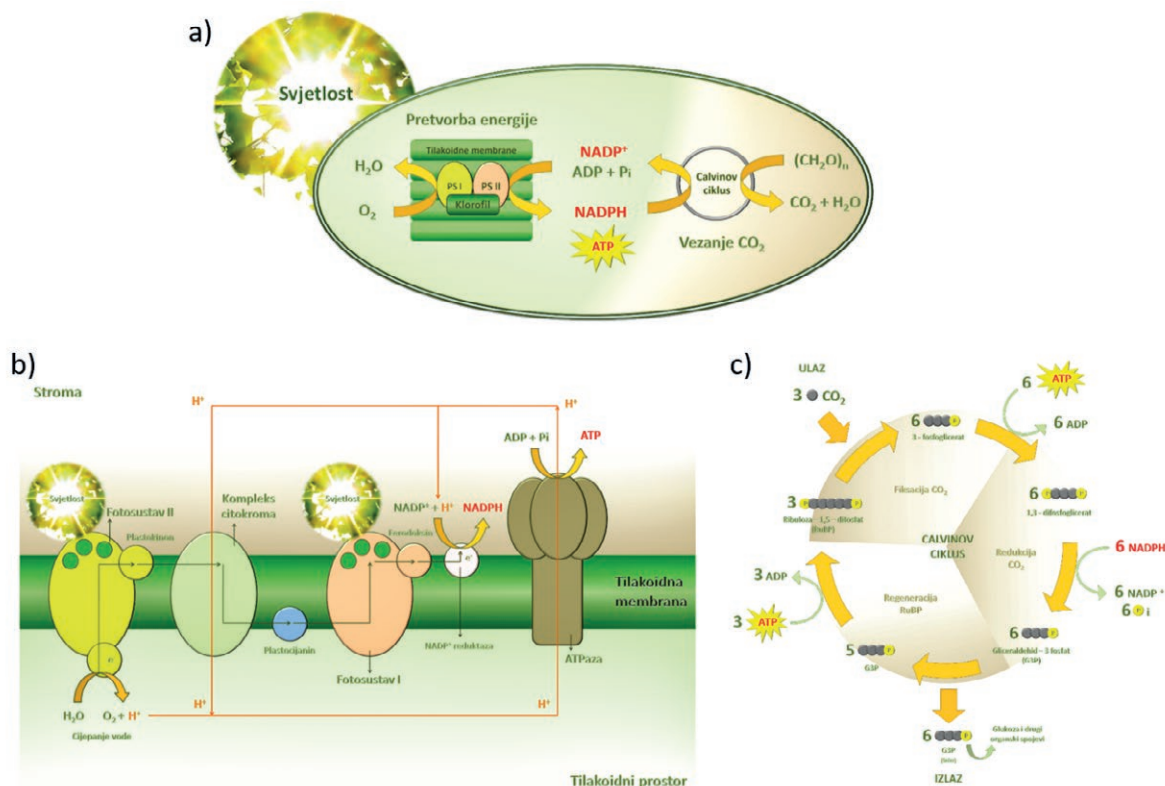
Najaktivnije fotosintetsko tkivo u biljci je mezofil lista. Stanice mezofila imaju veliki broj kloroplasta koji se odlikuju specifičnom strukturom koju definiraju tri različite membrane; vanjska, unutarnja i tilakoidna, te tri zasebna prostora; međumembranski, stromin i tilakoidni. Prema tomu, kloroplasti su obavijeni ovojnicom koju čine dvije mem-

brane, vanjska i unutrašnja, između kojih se nalazi međumembranski prostor. Tilakoidne membrane smještene su unutar kloroplasta i tvore cilindrične strukture (u obliku spljoštenih vrećica) koje se nazivaju tilakoidi, unutar kojih se nalazi tilakoidni prostor. Ostali prostor unutar kloroplasta, između ovojnice i tilakoida je stromin prostor koji je ispunjen tekućinom (stromom) koja sadrži ribosome, kružnu DNA i topive enzime (Pevalek-Kozlina 2003).

S obzirom da je poznavanje strukture kloroplasta osnovni preduvjet za razumijevanje fotosinteze u daljnjem dijelu teksta ukratko će biti opisana veza između strukturne građe kloroplasta i fotosintetskog procesa, kojega čine primarne (svjetlosne) i sekundarne (tamne) reakcije. U svjetlosnim reakcijama fotosinteze dolazi do apsorpcije Sunčeve energije od strane klorofila i ostalih fotosintetskih pigmenata uklopljenih u tilakoidne membrane te njezine pretvorbe u kemijsku energiju u obliku dva spoja, adenosin-trifosfata (ATP) i reduciranog nikotinamid-adenin-dinukleotid-fosfata (NADPH). Pomoću tih spojeva (ATP i NADPH) koji su proizvedeni u svjetlosnim reakcijama u tamnim reakcijama fotosinteze koje se odvijaju u stromi kloroplasta (poznatima i pod nazivom Calvinov ciklus) dolazi do vezanja atmosferskog ugljik-dioksida (CO_2) na supstrat, ribuloza-1,5-difosfat, u reakciji karboksilacije koju katalizira enzim ribuloza-1,5-difosfat-karboksilaza-oksigenaza (RUBISCO) što u konačnici rezultira sintezom ugljikohidrata (Slika 1).

Prema rezultatima dosadašnjih istraživanja niske koncentracije mineralnih hraniva u lišću šumskoga drveća mogu drastično smanjiti stopu fotosinteze i produkciju ugljikohidrata, što se negativno odražava na njegov vegetativni rast (Villar-Salvador i dr. 2013, Uscola i dr. 2015). Takav rezultat može biti posljedica: promjena u strukturnoj građi kloroplasta (Chen i dr. 2012, Aldesuquy 2014), poremećenoj biosintezi klorofila (Chu i dr. 2006, Mengutay i dr. 2013, Faust i Schubert 2016), poremećenom mehanizmu zaštite i popravka oštećenog fotosintetskog aparata (Bascuñán-Godoy i dr. 2018, Tränkner i dr. 2018, Sitko i dr. 2019), otežanoj difuziji CO_2 iz atmosfere u stromu kloroplasta (Flexas i dr. 2008, Eller i dr. 2016, Sun i dr. 2016, Tränkner i dr. 2018) i smanjenom aktivnošću enzima RUBISCO (Evans 1989, Evans i Poorter 2001, Richter i Rao 2005, Tränkner i dr. 2018).

S obzirom na gore navedeno, cilj ovoga rada bio je ispitati fotosintetski odgovor bukovih klijanaca na suboptimalnu ishranjenost s dušikom (N), fosforom (P), magnezijem (Mg) ili željezom (Fe). Uz to, dobiveni rezultati raspravljeni su u kontekstu dosadašnjih spoznaja o utjecaju mineralne ishrane šumskoga drveća na njegovu fotosintetsku aktivnost s ciljem dodatnog približavanja ove problematike šumarskoj praksi.



Slika 1. Shematski prikaz odvijanja primarnih (svjetlosnih) i sekundarnih (tamnih) reakcija fotosinteze unutar kloroplasta (prikaz a). U svjetlosnim reakcijama koje se odvijaju u tilakoidnim membranama dolazi do pretvorbe energije, uslijed čega se Sunčeva energija (svjetlost) pohranjuje u molekulama ATPa i NADPH (prikaz b). U tamnim reakcijama (Calvinovom ciklusu) koje se odvijaju u stromi kloroplasta ATP se koristi kao izvor energije, a NADPH kao izvor visokoenergiranih elektrona potrebnih za vezanje i ugradnju CO_2 u organske spojeve (ugljikohidrate) pomoću enzima RUBISCO (prikaz c).

Figure 1. The primary (light) and secondary (dark) reactions of photosynthesis in chloroplast (figure a). In light reactions that take place in thylakoid membranes, solar energy (light) is converted to chemical energy and stored in ATP and NADPH molecules (Figure b). In dark reactions (Calvin cycle) that take place in stroma, ATP are used as a source of energy, and NADPH are used as a source of high-energy electrons required for the fixation and reduction of CO_2 by the enzyme RUBISCO into organic compounds (Figure c).

MATERIJALI I METODE MATERIAL AND METHODS

Biljni materijal i dizajn pokusa – *Plant material and experimental design*

Klijanci obične bukve na kojima je provedeno istraživanje porijeklom su iz srednjodobne prirodne mješovite sastojine hrasta kitnjaka i obične bukve. Sastojina u kojoj se pristupilo uzorkovanju klijanaca (pažljivom iskapanju klijanaca s ciljem minimalnog oštećenja njihova korijena) sastavni je dio Nastavno-pokusnog šumskog objekta „Dotršćina“ s kojim gospodari Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Sveučilišta u Zagrebu. Svi iskopani klijanci imali su pravilno razvijene i zdrave supke te po dva mlada lista u početnoj fazi razvoja. Prosječna visina tako uzorkovanih klijanaca iznosila je 104,9 mm, promjer na vratu korijena iznosio je 1,83 mm, a prosječna dužina korijena 78,3 mm.

Netom nakon iskapanja (17. travnja 2019. godine) klijanci su transportirani u laboratorij gdje im je korijenje pažljivo isprano destiliranom vodom. Nakon toga, presađeni su u plastične kontejnere (dimenzija 10 x 10 x 20 cm) koji su bili

prethodno ispunjeni agropertilom neutralne pH reakcije kao sterilnim supstratom za uzgoj biljaka koji u sebi ne sadrži nikakva biljna hraniva.

Nakon presadnje, po šest kontejnera s pripadajućim klijancima bilo je raspoređeno u pet skupina (budućih tretmana). Prema tomu, istraživanje je provedeno na ukupno 30 klijanaca. Različiti tretmani podrazumijevali su zalijevanje klijanaca s prethodno pripremljenim hranjivim otopinama. Hranjiva otopina s kojom su zalijevani klijanci u kontrolnom tretmanu sadržavala je sva esencijalna makro i mikro hraniva (KO tretman). S druge strane, hranive otopine s kojima su zalijevani klijanci u ostala četiri tretmana sadržavale su sva esencijalna makro i mikro hraniva, izuzev dušika (–N tretman), fosfora (–P tretman), magnezija (–Mg tretman) i željeza (–Fe tretman).

Zalijevanje klijanaca obavljeno je manualno u skladu s gore opisanim dizajnom pokusa sa 100 ml odgovarajuće hranive otopine po kontejneru/klijancu svakih sedam dana, u razdoblju od trenutka presadnje do kraja vegetacijskog razdoblja 2019. godine.

Priprema hranivih otopina – *Preparation of nutrient solutions*

Polumodificirana Hoaglandova otopina pripremljena je pomoću KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KH_2PO_4 , MgSO_4 , Fe-helata i mikroelemenata (Hoagland i Arnon 1950). Tako pripremljena hraniva otopina s kojom su zalijevani klijanci u KO tretmanu sadržavala je sljedeće koncentracije makro i mikro elemenata biljne ishrane: K (3 mM L^{-1}), Ca ($2,5 \text{ mM L}^{-1}$), nitratni oblik N ($7,5 \text{ mM L}^{-1}$), P ($0,5 \text{ mM L}^{-1}$), Mg ($0,1 \text{ mM L}^{-1}$), Fe ($0,1 \text{ mM L}^{-1}$), B ($0,04 \text{ mM L}^{-1}$), Mn ($9 \text{ } \mu\text{M L}^{-1}$), Zn ($0,8 \text{ } \mu\text{M L}^{-1}$), Cu ($0,3 \text{ } \mu\text{M L}^{-1}$) i Mo ($0,1 \text{ } \mu\text{M L}^{-1}$). U hranivu otopinu s kojom su zalijevani klijanci u –N tretmanu umjesto KNO_3 i $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ dodani su K_2SO_4 i CaCl_2 . U hranivu otopinu s kojom su zalijevani klijanci u –P tretmanu umjesto KH_2PO_4 dodan je K_2SO_4 . Hranivim otopinama s kojima su zalijevani klijanci u –Mg i –Fe tretmanima izuzeti su MgSO_4 , odnosno Fe-helat.

Izmjera fizioloških značajki – *Measurement of physiological traits*

Izmjera fizioloških značajki klijanaca obavljena je svakih sedam dana od trenutka kada je na svim klijancima lišće bilo potpuno razvijeno (22. svibnja 2019. godine) do trenutka kada je lišće bilo uzorkovano s ciljem utvrđivanja njegovih kemijskih značajki (16. listopada 2019.).

Intenzitet izmjene plinova između biljke i okolne atmosfere mjereno je pomoću prijenosnog LCpro+ uređaja (ADC BioScientific, Hoddeson, UK) s ciljem utvrđivanja stope fotosinteze, tj. asimilacije CO_2 (A), provodljivosti puči za H_2O (g_s) te intercelularne koncentracije CO_2 (c_i). Navedene izmjere obavljane su između 10:00 i 11:00 sati na jednom listu po svakom od ukupno 30 klijanaca uključenih u istraživanje. Tijekom izmjere izmjene plinova svaki je list bio izložen intenzitetu osvjetljenja od $1000 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, koncentraciji CO_2 od $400 \pm 10 \text{ } \mu\text{mol mol}^{-1}$ i temperaturi zraka od $25 \pm 2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Indeks fotosintetske učinkovitosti (PI_{ABS}) mjereno je pomoću prijenosnog uređaja za izmjeru fluorescencije klorofila *a* (Pocket PEA, Hansatech Instruments Ltd., Norfolk, UK). Navedena izmjera obavljena je na jednom listu po svakom od ukupno 30 klijanaca uključenih u istraživanje između 11:00 i 12:00 sati. Prije mjerenja dio lista na kojemu je izmjera obavljena bio je prilagođen uvjetima tame (najmanje 30 minuta).

Indeks sadržaja ukupnih klorofila u lišću (CCI) mjereno je pomoću prijenosnog optičkog klorofilmetra CCM-200 (Opti-Sciences, Tyngsboro, MA). Izmjera je obavljena na dva lista po svakom od 30 klijanaca uključenih u istraživanje, na pet slučajno odabranih mjesta po svakom listu izbjegavajući glavnu lisnu žilu.

Kemijske analize biljnoga materijala – *Chemical analysis of plant material*

Nakon uzorkovanja lišća (koje je u trenutku uzorkovanja bilo relativno zdravo bez vidljivih znakova starenja) i utvrđivanja njegove mase u svježem i suhom stanju, ono je podrvgnuto kemijskoj analizi s ciljem utvrđivanja njegova mineralnog sastava, odnosno ishranjenosti istraživanih klijanaca s makro i mikro hranivima. Zbog relativno male mase lišća u suhom stanju unutar svakog tretmana bilo je moguće oformiti samo jedan uzorak koji se sastojao od ukupno 12 listova. Prema tomu, kemijska analiza lišća obavljena je na ukupno pet uzoraka, od kojih je svaki pripadao po jednom tretmanu.

Uzorkovano lišće sušeno je na $105 \text{ } ^\circ\text{C}$ do konstantne mase. Nakon toga, lišće svakog pojedinog uzorka je samljeveno i homogenizirano. Iz određene količine tako pripremljenih uzoraka utvrđena je koncentracija N metodom po Kjendahlju. Koncentracija P utvrđena je spektrofotometrijski uz prethodnu digestiju koncentriranom HNO_3 i HClO_4 . Koncentracija K utvrđena je na plamenfotometru uz prethodnu digestiju koncentriranom HNO_3 i HClO_4 . Koncentracije Ca, Mg, Fe, Zn, Mn i Cu utvrđene su atomskom apsorpcijskom spektrofotometrijom uz prethodnu digestiju koncentriranom HNO_3 i HClO_4 . Navedene analize provedene su prema razvijenim i standardiziranim protokolima od strane AOAC (2015).

Statistička analiza – *Statistical analysis*

Utjecaj tretmana na fiziološke i morfološke značajke istraživanih klijanaca ispitan je pomoću ANOVA-e. Tukey-ev post-hoc test proveden je s ciljem utvrđivanja signifikantnih razlika između tretmana. Analiza je provedena programskim paketom Statistica 7.1. (StatSoft, Inc. 2006).

REZULTATI RESULTS

Utjecaj tretmana na mineralnu ishranu bukovih klijanaca – *Influence of treatments on mineral nutrition of beech seedlings*

Prema Bergmann (1993) na optimalnu ishranjenost obične bukve s mineralnim hranivima ukazuju granične vrijednosti koncentracije N (1,90 – 2,50 %), P (0,15 – 0,30 %), Mg (0,15 – 0,30 %), K (1,0 – 1,50 %), Ca (0,30 – 1,50 %), Zn (15 – 50 ppm), Mn (35 – 100 ppm) i Cu (5 – 12 ppm) u suhoj tvari lišća. Granične vrijednosti optimalne ishranjenosti obične bukve s Fe iznose 50 – 178 ppm (Van den Burg 1990). Na temelju usporedbe izmjerene koncentracije mineralnih hraniva u suhoj tvari lišća (Tablica 1) sa gore navedenim graničnim vrijednostima, evidentno je da je u KO tretmanu koncentracija svih hraniva bila u granicama optimalne ishranjenosti. S druge strane, najniža koncentracija

Tablica 1. Koncentracija dušika (N), fosfora (P), magnezija (Mg), željeza (Fe), kalija (K), kalcija (Ca), cinka (Zn), mangana (Mn) i bakra (Cu) u suhoj tvari lišća bukovih klijanaca tretiranih s kompletnom hranivom otopinom (KO) i hranivim otopinama u kojima su izostavljeni dušik (–N), fosfor (–P), magnezij (–Mg) i željezo (–Fe).

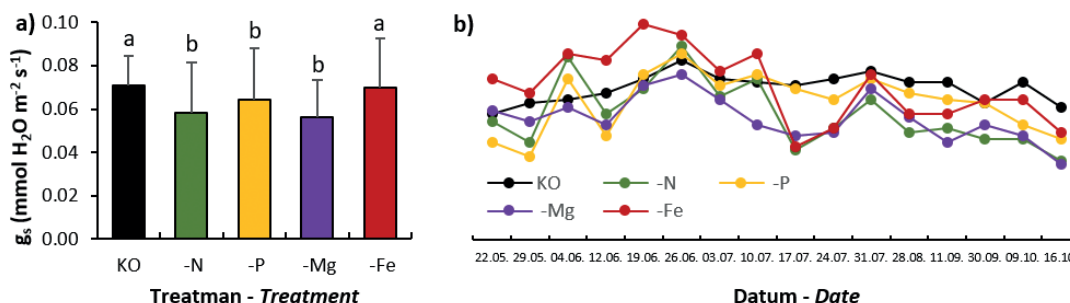
Table 1. Concentration of nitrogen (N), phosphorus (P), magnesium (Mg), iron (Fe), potassium (K), calcium (Ca), zinc (Zn), manganese (Mn) and copper (Cu) in dry matter of the leaves in treated beech seedlings with complete nutrient solution (KO) and nutrient solutions in which nitrogen (–N), phosphorus (–P), magnesium (–Mg) and iron (–Fe) were omitted.

Tretman Treatment	N (%)	P (%)	Mg (%)	Fe (ppm)	K (%)	Ca (%)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)
KO	2,11	0,19	0,27	71,10	1,03	2,37	15,61	174,60	7,72
–N	1,66	0,24	0,30	67,90	0,81	1,98	16,61	212,00	8,45
–P	1,95	0,10	0,29	66,80	0,71	1,91	14,16	236,40	7,92
–Mg	1,89	0,22	0,18	73,90	0,58	1,80	14,89	228,30	8,31
–Fe	2,01	0,20	0,23	65,90	0,93	1,68	14,08	319,90	7,95

N zabilježena je u –N tretmanu, P u –P tretmanu, Mg u –Mg tretmanu i Fe u –Fe tretmanu (Tablica 1). Utjecaj tretmana očekivano se odrazio na mineralnu ishranu istraživanih klijanaca. Ishranjenost klijanaca s ostalim hranivima (Ca, Zn, Mn i Cu) u svim je tretmanima bila optimalna. Izuzev K s kojim su bili optimalno ishranjeni jedino klijanci u KO tretmanu (Tablica 1).

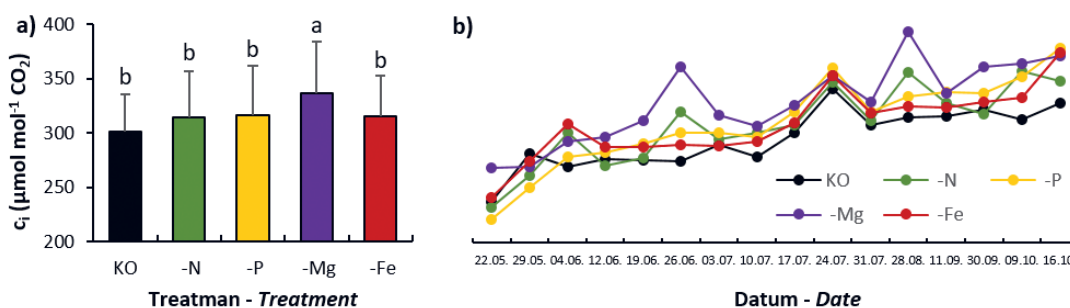
Utjecaj tretmana na provodljivost puči – Influence of treatments on stomatal conductance

Prosječna vrijednost g_s kod klijanaca iz KO tretmana bila je signifikantno viša u odnosu na klijance iz –N, –P i –Mg tretmana, što u odnosu na klijance iz –Fe tretmana nije utvrđeno (Slika 2a). Kretanje izmjerenih vrijednosti g_s kroz sezonu otkriva da su u prvom dijelu vegetacijskoga razdo-



Slika 2. Prosječne vrijednosti (prikaz a) i sezonski trend (prikaz b) provodljivosti puči (g_s) bukovih klijanaca tretiranih s kompletnom hranivom otopinom (KO) i hranivim otopinama u kojima su izostavljeni dušik (–N), fosfor (–P), magnezij (–Mg) i željezo (–Fe). Različita mala slova ukazuju na signifikantne razlike ($p < 0.05$) između tretmana.

Figure 2. Mean values (figure a) and seasonal trend (figure b) of stomatal conductance (g_s) in beech seedlings treated with complete nutrient solution (KO) and nutrient solutions in which nitrogen (–N), phosphorus (–P), magnesium (–Mg) and iron (–Fe) were omitted. Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$) between treatments.



Slika 3. Prosječne vrijednosti (prikaz a) i sezonski trend (prikaz b) intercelularne koncentracije CO_2 (c_i) bukovih klijanaca tretiranih s kompletnom hranivom otopinom (KO) i hranivim otopinama u kojima su izostavljeni dušik (–N), fosfor (–P), magnezij (–Mg) i željezo (–Fe). Različita mala slova ukazuju na signifikantne razlike ($p < 0.05$) između tretmana.

Figure 3. Mean values (figure a) and seasonal trend (figure b) of intercellular concentration of CO_2 (c_i) in beech seedlings treated with complete nutrient solution (KO) and nutrient solutions in which nitrogen (–N), phosphorus (–P), magnesium (–Mg) and iron (–Fe) were omitted. Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$) between treatments.

blja (do sredine srpnja) klijanci iz –Fe tretmana, a u drugom dijelu vegetacijskoga razdoblja (nakon sredine srpnja) klijanci iz KO tretmana svoju g_s uspjeli održati nešto višom u odnosu na klijance iz ostalih tretmana (Slika 2b).

Utjecaj tretmana na intercelularnu koncentraciju CO_2 – Influence of treatments on intercellular concentration of CO_2

Međusobna usporedba tretmana s obzirom na prosječne vrijednosti c_i (Slika 3a) i kretanje izmjerenih vrijednosti c_i tijekom cijelog vegetacijskog razdoblja (Slika 3b) ukazuju da su najnižu c_i imali klijanci iz KO tretmana, a najvišu klijanci iz –Mg tretmana. Uz to, klijanci iz –Mg tretmana imali su značajno višu c_i u odnosu na klijance iz ostalih tretmana čija se c_i nije značajno razlikovala (Slika 3a).

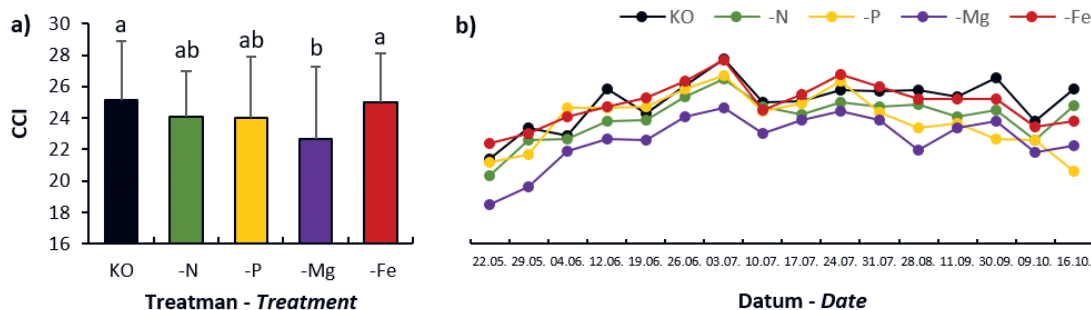
Utjecaj tretmana na indeks relativnog sadržaja klorofila – Influence of treatments on chlorophyll content index

Najvišu prosječnu vrijednost CCI-a imali su klijanci iz KO tretmana, a najnižu klijanci iz –Mg tretmana čiji je CCI

bio značajno niži samo u odnosu na KO i –Fe tretman (Slika 4a). Uz to, sezonski trend kretanja CCI-a otkriva da je CCI u –Mg tretmanu bio uglavnom niži nego u ostalim tretmanima tijekom cijelog vegetacijskog razdoblja (Slika 4b).

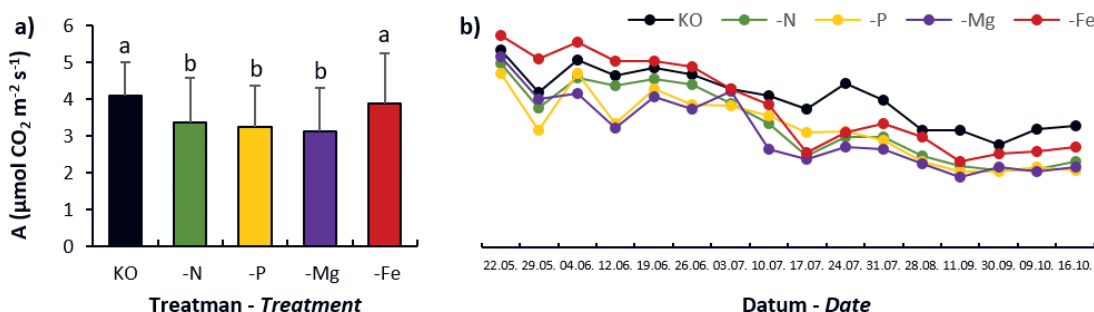
Utjecaj tretmana na indeks fotosintetske učinkovitosti i stopu fotosinteze – Influence of treatments on photosynthetic performance index and photosynthetic rate

Prosječne vrijednosti PI_{ABS} i A kod klijanaca iz KO tretmana bile su značajno više u odnosu na klijance iz –N, –P i –Mg tretmana, što u odnosu na klijance iz –Fe tretmana nije utvrđeno (Slika 5a i 6a). Kretanje izmjerenih vrijednosti PI_{ABS} i A tijekom cijelog vegetacijskog razdoblja otkriva da su u prvom dijelu vegetacijskog razdoblja (do sredine srpnja) klijanci iz –Fe tretmana, a u drugom dijelu vegetacijskoga razdoblja (nakon sredine srpnja) klijanci iz KO tretmana svoju PI_{ABS} i A uspjeli održavati nešto višima u odnosu na klijance iz ostalih tretmana (Slika 5b i 6b).



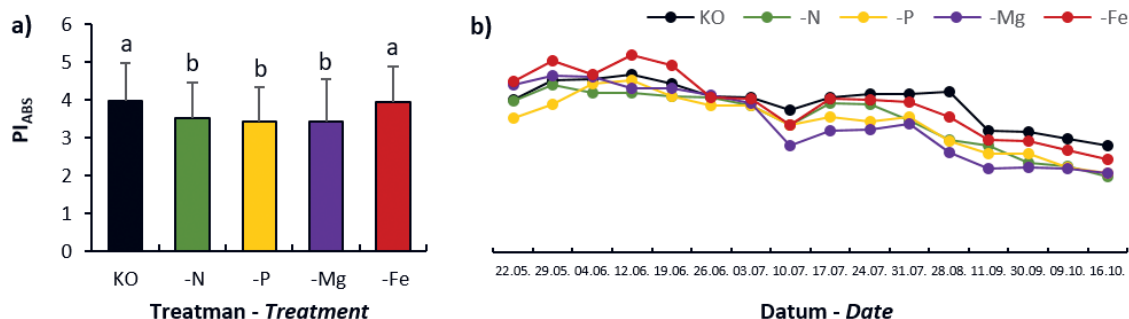
Slika 4. Prosječne vrijednosti (prikaz a) i sezonski trend (prikaz b) indeksa relativnog sadržaja klorofila (CCI) u lišću bukavih klijanaca tretiranih s kompletnom hranivom otopinom (KO) i hranivim otopinama u kojima su izostavljeni dušik (–N), fosfor (–P), magnezij (–Mg) i željezo (–Fe). Različita mala slova ukazuju na značajne razlike ($p < 0.05$) između tretmana.

Figure 4. Mean values (figure a) and seasonal trend (figure b) of chlorophyll content index (CCI) of beech seedlings treated with complete nutrient solution (KO) and nutrient solutions in which nitrogen (–N), phosphorus (–P), magnesium (–Mg) and iron (–Fe) were omitted. Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$) between treatments.



Slika 5. Prosječne vrijednosti (prikaz a) i sezonski trend (prikaz b) indeksa fotosintetske učinkovitosti (PI_{ABS}) bukavih klijanaca tretiranih s kompletnom hranivom otopinom (KO) i hranivim otopinama u kojima su izostavljeni dušik (–N), fosfor (–P), magnezij (–Mg) i željezo (–Fe). Različita mala slova ukazuju na značajne razlike ($p < 0.05$) između tretmana.

Figure 5. Mean values (figure a) and seasonal trend (figure b) of the photosynthetic performance index (PI_{ABS}) of beech seedlings treated with complete nutrient solution (KO) and nutrient solutions in which nitrogen (–N), phosphorus (–P), magnesium (–Mg) and iron (–Fe) were omitted. Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$) between treatments.



Slika 6. Prosječne vrijednosti (prikaz a) i sezonski trend (prikaz b) stope fotosinteze (A) bukovich klijanaca tretiranih s kompletnom hranivom otopinom (KO) i hranivim otopinama u kojima su izostavljeni dušik (-N), fosfor (-P), magnezij (-Mg) i željezo (-Fe). Različita mala slova ukazuju na signifikantne razlike ($p < 0.05$) između tretmana.

Figure 6. Mean values (figure a) and seasonal trend (figure b) of photosynthetic rate (A) of beech seedlings treated with complete nutrient solution (KO) and nutrient solutions in which nitrogen (-N), phosphorus (-P), magnesium (-Mg) and iron (-Fe) were omitted. Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$) between treatments.

RASPRAVA DISCUSSION

Utjecaj tretmana na mineralnu ishranu bukovich klijanaca – Influence of treatments on mineral nutrition of beech seedlings

Prema rezultatima kemijske analize biljnoga materijala utvrđena je redukcija (smanjenje) koncentracije N, P, Mg i Fe u suhoj tvari lišća sukladno primjenjenim tretmanima (Tablica 1). U skladu s tim, nešto lošija ishranjenost klijanaca s N, P i Mg negativno se odrazila na sve parametre koji u ovom radu opisuju funkcionalnost fotosintetskog aparata. To potvrđuju prosječne vrijednosti CCI, PI_{ABS} , A, g_s i c_i koje su u većini slučajeva bile signifikantno različite kod klijanaca iz -N, -P i -Mg tretmana s jedne strane u odnosu na klijanice iz KO tretmana s druge strane (Slike 2a, 3a, 4a, 5a i 6a). Za razliku od N, P i Mg nešto lošija ishranjenost klijanaca sa Fe nije imala značajnijeg utjecaja na funkcionalnost njihova fotosintetskog aparata. To potvrđuju prosječne vrijednosti CCI, PI_{ABS} , A, g_s i c_i koje se nisu signifikantno razlikovale kod klijanaca iz -Fe i KO tretmana (Slike 2a, 3a, 4a, 5a i 6a). Takav rezultat u skladu je s činjenicom da najniža koncentracija Fe u suhoj tvari lišća od 65,90 ppm što je utvrđeno u -Fe tretmanu (Tablica 1) nije bila ispod granične vrijednosti optimalne ishranjenosti za običnu bukvu koja prema Van den Burg (1990) iznosi 50 – 178 ppm. Izostanak očekivanog utjecaja -Fe tretmana na ishranjenost istraživanih klijanaca s Fe moguće je objasniti činjenicom da Fe za razliku od N, P i Mg pripada skupini mikro hraniva, čije su koncentracije u biljnom tkivu relativno niske. Moguće je pretpostaviti da su istraživani klijanci iz tla prirodne sastojine i/ili iz rezervi uskladištenih u sjemenu tijekom početne faze svoga razvoja uspjeli usvojiti i/ili mobilizirati dovoljnu količinu Fe koja im je bila dostatna za normalno funkcioniranje tijekom cijelog vegetacijskog razdoblja, bez obzira na kasniju primjenu naših tretmana.

Utjecaj tretmana na fotosintetsku aktivnost bukovich klijanaca – Influence of treatments on photosynthetic activity of beech seedlings

Stopa fotosinteze (A) predstavlja količinu CO_2 koja kroz puči na određenoj površini lista u određenoj jedinici vremena uđe u intercelularne prostore lista (Pandey i dr 2017). Pojednostavljeno rečeno, visoke vrijednosti A ukazuju na vrlo brzu i efikasnu fiksaciju CO_2 pomoću enzima RUBISCO i potencijalnu produkciju velike količine ugljikohidrata. S jedne strane, brzina fiksacije CO_2 pomoću enzima RUBISCO ovisi o količini CO_2 koji se nalazi u stromi kloroplasta i brzini pritjecanja novih količina CO_2 u stromu, dok s druge strane ovisi o količini dostupne energije u obliku molekula ATP i NADPH proizvedenih u svjetlosnim reakcijama fotosinteze (Taiz i Zeiger 2010).

Svojevrsan uvid u brzinu pritjecanja CO_2 iz atmosfere do strome kloroplasta moguće je dobiti na temelju analize g_s i c_i , dok funkcionalnost svjetlosnih reakcija fotosinteze čiji su krajnji produkti molekule ATP i NADPH vrlo dobro opisuju CCI i PI_{ABS} . S obzirom na to, u daljem dijelu rasprave naši rezultati bit će prikazani u kontekstu dosadašnjih spoznaja o utjecaju mineralne ishrane na izmjerene parametre (g_s , c_i , CCI, PI_{ABS} i A) koji opisuju fotosintetsku aktivnost.

Provodljivost puči – Stomatal conductance

Prva prepreka atmosferskom CO_2 prilikom ulaska u list predstavljaju stanice zapornice koje reguliraju otvorenost puči. Prema literaturnim podacima, od svih mineralnih hraniva najznačajniju ulogu u procesu otvaranja i zatvaranja puči ima K (Barker i Pilbeam, 2007). Kalijevi ioni (K^+) predstavljaju glavnu anorgansku osmotski aktivnu tvar u biljnom tijelu koja pokreće turgorske promjene u stanicama zapornicama i na taj način regulira otvorenost puči. Uspješno gibanje stanica zapornica, odnosno učinkovitost otvaranja i zatvaranja puči ovisi o brzini izmjene velikih količina K^+ iona između apoplasta, citosola i vakuole unutar

stanica zapornica (Roelfsema i Hedrich 2002, Andres i dr. 2014). Ulazak K^+ iona u vakuole stanica zapornica slijedi voda, uslijed čega dolazi do povećanja njihova turgora i otvaranja puči. Izlazak K^+ iona iz stanica zapornica također slijedi voda uslijed čega dolazi do smanjenja turgora i zatvaranja puči. Iz tog se razloga niska g_s kod biljaka loše ishranjenih s K najčešće dovodi u izravnu vezu sa otežanim otvaranjem puči (Zhao i Assman 2011, Misra i dr. 2015, Jakli i dr. 2017, Tränkner i dr. 2018). Prema tomu, niže koncentracije K u lišću mogu objasniti signifikantno nižu g_s kod klijanaca iz –N, –P i –Mg tretmana (koji su bili suboptimalno ishranjeni s K) u odnosu na klijance iz KO tretman (koji su bili optimalno ishranjeni s K).

Međutim, u –Fe tretmanu u kojem su klijanci također bili suboptimalno ishranjeni s K nije došlo do signifikantnog smanjenja g_s u odnosu na KO tretman (Tablica 1, Slika 2a). To ukazuje da K nije bio jedini uzročnik opadanja g_s u –N, –P i –Mg tretmanu, odnosno da uz K^+ ione vrlo važnu ulogu u mehanizmu otvaranja i zatvaranja puči kod obične bukve mogu imati N, P i Mg. Ta pretpostavka u skladu je s rezultatima ranijih istraživanja prema kojima suboptimalna ishranjenost biljaka s N, P i Mg utječe na velik broj fizioloških procesa povezanih s vodnim statusom biljaka i/ili regulacijom vodne ravnoteže u biljkama (Carvajal i dr. 1996 i 1999, Rao i dr. 1987, Barker i Pilbeam 2007, Eller i dr. 2016).

Primjerice, N i Mg imaju važnu ulogu u biosintezi klorofila koji u stanicama zapornicama pokreće fotosintezu što rezultira sintezom ugljikohidrata, odnosno šećera koji predstavljaju glavnu organsku osmotski aktivnu tvar koja u stanicama zapornicama pokreće turgorske promjene i na taj način regulira otvorenost puči (Taiz i Zeiger 2010). Opadanje osmotskog potencijala i/ili turgorskog tlaka u stanicama zapornicama rezultira njihovim potpunim ili djelomičnim zatvaranjem, što može biti izravna posljedica niske koncentracije šećera u njihovom staničnom soku zbog niske stope fotosinteze (Lawson 2009). Na taj način moguće je dodatno objasniti signifikantno nižu g_s kod klijanaca iz –N i –Mg tretmana u odnosu na KO tretman. S druge strane, P je izuzetno bitan za regulaciju energetskog potencijala biljnih stanica, uključujući i stanice zapornice (Richter i Rao 2005). Primjerice, ulazak K^+ iona u stanice zapornice regulira enzim H^+ATP aza (adenozintrifosfataza) za čiji je neometan rad potrebna dovoljna količina ATP-a čija pak sinteza ovisi o urednoj ishranjenosti biljke s P (Richter i Rao 2005). U slučaju loše ishranjenosti biljke s P dolazi do otežanog ulaska K^+ iona u stanice zapornice, što bi moglo rezultirati otežanim otvaranjem puči. Na taj način moguće je dodatno objasniti signifikantno nižu g_s kod klijanaca iz –P tretmana u odnosu na KO tretman.

U skladu s gore navedenim, izostanak signifikantnih razlika između –Fe i KO tretmana s obzirom na g_s (Slika 2a) moguće je objasniti prilično dobrom ishranjenošću klijanaca sa N, P i Mg u –Fe tretmanu (Tablica 1).

Na posljetku valja napomenuti kako su najviše vrijednosti g_s zabilježene sredinom vegetacijskoga razdoblja (krajem lipnja i početkom srpnja) kod klijanaca iz svih tretmana, nakon čega je g_s počela blago opadati (Slika 2b). Takav rezultat u skladu je s rezultatima ranijih istraživanja provedenima na običnoj bukvi prema kojima g_s u drugom dijelu vegetacijskoga razdoblja polagano opada, što se povezuje s otežanim otvaranjem puči usljed raznovrsnih oštećenja stomatalnog aparata (Gallé i dr. 2007, Pflug i dr. 2018).

Intercelularna koncentracija CO_2 – *Intercellular concentration of CO_2*

Nakon što CO_2 iz atmosfere kroz puči uđe u intercelularne prostore lišća, CO_2 se otapa u vodi koja se nalazi u apoplastu staničnih stjenki. Nakon što prijeđe u tekuću fazu, CO_2 je u biljci (listu) prisutan kao otopljeni CO_2 ili hidrogenkarbonatni ion (HCO_3^-) i u tom se obliku dalje transportira kroz pore staničnih stjenki, plazmatske membrane, citosol i kloroplasne membrane, nakon čega ulazi u stromu kloroplasta, gdje se veže u molekule ugljikohidrata pomoću enzima RUBISCO. Na svom daljnjem putu kroz staničje lista do svog krajnjeg odredišta u stromi kloroplasta, CO_2 mora savladati cijeli niz prepreka koje stvaraju otpor njenoj difuziji. U stručnoj literaturi taj otpor naziva se provodljivost mezofila (Tholen i Zhu 2011) koji je moguće kvantificirati na temelju razlike između parcijalnog tlaka CO_2 u intercelularnom prostoru lista i stromi kloroplasta u blizini enzima RUBISCO (Berghuijs i dr. 2017).

Prema Flexas i dr. (2008) visoka c_i često puta neizravno ukazuje na slabiju provodljivost mezofila. Najniža c_i kod klijanaca iz KO tretmana mogla bi ukazivati na najbolju provodljivost mezofila za CO_2 , dok bi najviša c_i kod klijanaca iz –Mg tretmana mogla ukazivati na najlošiju provodljivost mezofila za CO_2 (Slika 3a). U nama dostupnoj literaturi trenutno nije bilo moguće pronaći podatke o izravnom utjecaju ishranjenosti biljaka s Mg na provodljivost njihova mezofila. Međutim, klijanci iz –Mg tretmana u svom su lišću uz niske koncentracije Mg ujedno imali i vrlo niske koncentracije K (Tablica 1). Štoviše, neizravan utjecaj loše ishranjenosti biljaka s Mg i K na provodljivost mezofila za CO_2 u literaturi je prilično dobro dokumentiran, a najčešće se dovodi u vezu s anatomskom građom lišća (Pettigrew 1999, Gerardeaux i dr. 2010, Jin i dr. 2011, Lu i dr. 2016) i/ili koncentracijom otopljenih šećera u lišću (Cakmak i dr. 1994, Lavon i dr. 1995, Gerardeaux i dr. 2010). Pod utjecajem loše ishranjenosti biljaka s Mg i/ili K dolazi do produkcije tanjeg lišća koje ima malu zapreminu intercelularnih prostora, a ujedno je građeno od velikog broja malih stanica, što sve skupa negativno utječe na provodljivost mezofila za CO_2 (Claussen i dr. 1997, Giuliani i dr. 2013). Anatomsku građu lišća koja bi mogla nepovoljno utjecati na provodljivost mezofila moguće je determinirati na temelju specifične lisne mase (SLM), (Syvertsen i dr. 1995, Hanba i dr. 1999). Prema našim zapažanjima

SLM bukovih klijanaca u svim tretmanima bila je podjednaka (podatak nije prikazan). U našem slučaju razlike u c_i i/ili provodljivosti mezofila za CO_2 između tretmana vjerojatno nisu posljedica različite anatomske građe lišća.

Nakupljanje nestrukturnih ugljikohidrata u lišću zbog njihova otežanog premještanja floemom također negativno utječe na difuziju CO_2 kroz mezofil lišća, a povezano je sa suboptimalnom ishranjenošću biljaka s Mg i K (Cakmak i dr. 1994, Lavon i dr. 1995). U tom kontekstu, K^+ ioni koji uz saharozu i amino spojeve predstavljaju vrlo važnu osmotski aktivnu tvar u floemskom soku koja regulira transport otopljenih tvari floemom (Lalonde i dr. 2003). S druge strane, Mg regulira rad enzima H^+ -ATPaze (adenozintrifosfataze) odgovornoga za održavanje protonskog gradijenta između stanica floema, što također ima značajan utjecaj na transport otopljenih tvari floemom (Hanstein i dr. 2011). Prema tomu, loša ishranjenost biljaka s K i/ili Mg usporava transport otopljenih tvari floemom i rezultira nakupljanjem saharoze u mezofilu lišća, što negativno utječe na provodljivost mezofila za CO_2 (Carroll i dr. 2014, Hölttä i dr. 2017). Na taj način je u određenoj mjeri moguće objasniti prilično visoku c_i , odnosno slabu provodljivost mezofila za CO_2 kod bukovih klijanaca iz –Mg tretmana (Slika 3a) koji su u odnosu na klijance iz ostalih tretmana bili najlošije ishranjeni upravo s Mg i K (Tablica 1).

Utjecaj mineralnih hraniva na provodljivost mezofila najčešće se objašnjava u kontekstu njihova neizravnog utjecaja na čitav niz biokemijskih procesa koji se odvijaju u lišću (Evans i von Caemmerer 1996, von Caemmerer i Evans 1991, Warren 2004). Primjerice, prema nekim istraživanjima povećana koncentracija K u lišću pozitivno utječe na aktivnost enzima ugljične anhidraze (Mohammad i Naseem 2006) koji katalizira povezivanje CO_2 i H_2O u karbonatnu kiselinu, što pozitivno utječe na difuziju CO_2 kroz citosol i stromu kloroplasta prema enzimu RUBISCO (Berghuijs i dr. 2017). Uz to, valja napomenuti da provodljivost mezofila uz anatomsku građu lišća i/ili nakupljanje otopljenih tvari u lišću ovisi o ekspresiji proteina koji uvelike olakšavaju prelazak CO_2 kroz plazmatske membrane stanica koje tvore mezofil lišća (Wang i dr. 2016). Ekspresija, aktivnost i prisutnost takvih proteina u plazmatskim membranama pozitivno korelira s koncentracijom N, P i K u lišću biljaka (Kanai i dr. 2011, Wang i dr. 2016). To bi moglo objasniti nešto nižu c_i kod klijanaca iz KO tretmana (koji su bili prilično dobro ishranjeni s N, P i K) u odnosu na ostale tretmane (Tablica 1 i Slika 3a) što prema Flexas i dr. (2008) ujedno sugerira na dobru provodljivost mezofila za CO_2 .

Indeks relativnog sadržaja klorofila – *Chlorophyll content index*

Prema rezultatima ranijih istraživanja CCI izmjeren pomoću optičkog klorofilmetra u visokoj je pozitivnoj korelaciji s koncentracijom i/ili sadržajem klorofila *a*, klorofila *b* i uku-

pnih klorofila u lišću velikog broja šumskoga drveća, pa tako i obične bukve (Cate i Perkins 2003, Jifon i dr. 2005, Percival i dr. 2008, Silla i dr. 2010, Sever i dr. 2018). U skladu s tim, sasvim je legitimno pretpostaviti da razlike između naših tretmana s obzirom na CCI ujedno predstavljaju različiti sadržaj klorofila u lišću bukovih klijanaca. S obzirom da klorofilno-proteinski kompleksi čine okosnicu PS I i PS II unutar kojih se pokreću svjetlosne reakcije fotosinteze (Taiz i Zeiger 2010) u literaturi postoje dokazi o pozitivnoj korelaciji između koncentracije klorofila u lišću šumskoga drveća i parametara koji opisuju funkcionalnost svijetlih reakcija fotosinteze i/ili cjelokupnog fotosintetskog aparata (Percival i dr. 2008).

S ciljem jasne interpretacije dobivenog rezultata prema kojemu bukovi klijanci iz –N i –P tretmana imaju nešto niži, a klijanci iz –Mg tretmana signifikantno niži CCI u odnosu na klijance iz KO tretmana (Slika 4a) bitno je sažeto prikazati biosintetski put klorofila koji se odvija u plastidima (kloroplastima) a sastoji se od cijelog niza reakcija koje se mogu podijeliti u četiri faze (Taiz i Zeiger 2010). U prvoj fazi sintetizira se δ -aminolevulinska kiselina (δ -ALA) čiju stopu sinteze kontrolira Fe (Pushnik i dr. 1984). Uredna siteza δ -ALA uvelike ovisi o adekvatnoj ishranjenosti biljke s Fe, a koncentracija klorofila često korelira s koncentracijom Fe u lišću (Rout i Sahoo 2015). Prema našim rezultatima, nešto niža koncentracija Fe u lišću bukovih klijanaca nije imala negativan utjecaj na biosintezu klorofila, što potvrđuje podjednaka vrijednost CCI-a u –Fe i KO tretmanu (Slika 4a). U konačnici, krajnji produkt prve faze biosinteze klorofila su molekule porfobilinogena (PBG) koje nastaju kondenzacijom δ -ALA (Taiz i Zeiger 2010). Prema rezultatima ranijih istraživanja N i P također mogu utjecati na prvu fazu biosinteze klorofila što potvrđuje pozitivna korelacija između različitih razina ishranjenosti klijanaca vrste *Larix olgensis* s N i P s jedne strane i stope sinteze δ -ALA i PBG u njezinim iglicama s druge strane (Chu i dr. 2006). U našem slučaju, klijanci iz –N i –P tretmana imali su podjednak CCI koji je bio nešto niži u odnosu na klijance iz KO tretmana, ali ne signifikantno (Slika 4a) što je donekle u skladu s rezultatima prethodno spomenutog istraživanja. Druga faza obuhvaća cijeli niz kemijskih reakcija pod čijom kontrolom iz molekula porfobilinogena nastaje protoporfirin IX (Taiz i Zeiger 2010). U trećoj fazi dolazi do umetanja magnezijeva iona (Mg^{2+}) u protoporfirin IX pri čemu nastaje prstenasti sustav bogat dvostrukim konjugiranim vezama s labavo vezanim elektronima (Taiz i Zeiger 2010). Prema našem rezultatu najniži CCI koji ukazuje na sadržaj klorofila u lišću imali su klijanci iz –Mg tretmana (Slika 4a). Takav rezultat u skladu je s rezultatima ranijih istraživanja prema kojima niska koncentracija klorofila u lišću predstavlja uobičajeni odgovor biljaka na neadekvatnu ishranjenost s Mg (Mengutay i dr. 2013, Faust i Schubert 2016, Tränkner i dr. 2016). U zadnjoj, četvrtoj fazi biosintetskog puta klorofila dolazi do sinteze klorofila *a* iz kojega se naknadno sintetizira klorofil *b* (Rüdiger 2002).

Indeks fotosintetske učinkovitosti i stopa fotosinteze – *Photosynthetic performance index and photosynthetic rate*

Odgovor svijetlih reakcija fotosinteze na različite tretmane mineralnim hranivima kod bukovih klijanaca opisan je pomoću PI_{ABS} za kojega se u literaturi navodi da je vrlo prikladan i osjetljiv parametar koji vrlo dobro procjenjuje funkcionalnost fotosintetskog aparata pod utjecajem različitih biotskih i abiotskih stresora (Appenroth i dr. 2001, Strauss i dr. 2006, Gonçalves i dr. 2007). Prednost PI_{ABS} u odnosu na slične parametre (npr. Fv/Fm) ogleda se u tome što on predstavlja multiparametarski izraz koji uzima u obzir učinkovitost svih glavnih fotokemijskih procesa koji čine svjetlosne reakcije fotosinteze. To obuhvaća apsorpciju i hvatanje pobuđene energije, transport elektrona duž transportnog lanca elektrona i rasipanje viška pobuđene energije (Lepeduš i dr. 2012). S druge strane, cjelokupan fotosintetski odgovor bukovih klijanaca na različite tretmane mineralnim hranivima opisan je s A, što u biti predstavlja stopu asimilacije CO_2 koja je istovremeno utjecana brzinom pritjecanja CO_2 iz atmosfere do strome kloroplasta i količinom energije proizvedene u svjetlosnim reakcijama fotosinteze.

Prema našim rezultatima, klijanci iz KO tretmana imali su signifikantno višu PI_{ABS} i A u odnosu na klijance iz –N, –P i –Mg tretmana, što u odnosu na –Fe tretman nije utvrđeno (Slika 5a i 6a). Međutim, klijanci iz KO tretmana u drugom dijelu vegetacijskoga razdoblja (nakon sredine srpnja) svoju su PI_{ABS} i A održavali višima u odnosu na klijance iz ostalih tretmana (Slika 5b i 6b). Moguće je pretpostaviti da su klijanci iz –N, –P, –Mg i –Fe tretmana do sredine vegetacijskoga razdoblja potrošili zalihe N, P, Mg i Fe uskladištene u supkama ili parenhimu debalaca, a uslijed nemogućnosti njihova daljnjeg usvajanja iz supstrata nisu mogli održavati svoju PI_{ABS} i A na razini klijanaca iz KO tretmana. Takav rezultat potvrđuje važnu ulogu N, P, Mg i Fe u fotosintetskom procesu bukovih klijanaca koja se ogleda u regulaciji cijelog niza fizikalno-kemijskih procesa uključenih u svjetlosne i/ili tamne reakcije fotosinteze.

Primjerice, poznato je da sadržaj N u lišću biljaka pozitivno korelira sa stopom asimilacije CO_2 , ponajprije iz razloga jer većina N koji se nalazi u lišću gradi proteine i enzime uključene u svjetlosne i tamne reakcije fotosinteze (Evans 1989, Evans i Poorter 2001). Signifikantno niža PI_{ABS} i A kod bukovih klijanaca iz –N tretmana u odnosu na KO tretman (Slika 5a i 6a) može biti posljedica niže koncentracije proteinskih kompleksa uključenih u transport elektrona prilikom odvijanja svjetlosnih reakcija fotosinteze i/ili niže koncentracije enzima koji sudjeluju u Calvinovom ciklusu, a posebno enzima RUBISCO o kojem ovisi brzina fiksacije i redukcije CO_2 (Evans 1989).

Kod klijanaca iz –P tretmana u odnosu na klijance iz KO tretmana također je utvrđena signifikantno niža PI_{ABS} i A (Slika 5a i 6a). Takav rezultat u skladu je s rezultatima ranije

provedenih istraživanja prema kojima je kod biljaka loše ishranjenih s P utvrđena slabija sposobnost pretvorbe svjetlosne u kemijsku energiju, sporiji prijenos elektrona i usporena sinteza ATP-a i NADPH što sve skupa rezultira nižom stopom fiksacije CO_2 (Jacob i Lawlor 1993). Uz to, poznato je da P utječe na aktivaciju cijelog niza enzima uključenih u Calvinov ciklus koji izravno i/ili neizravno sudjeluju u fiksaciji i/ili redukciji CO_2 (Richter i Rao 2005) što je također moglo pridonijeti opadanju A kod klijanaca iz –P tretmana u odnosu na klijance iz KO tretmana (Slika 6a).

Kao i u prethodna dva slučaja, klijanci iz –Mg tretmana u odnosu na KO tretman imali su signifikantno nižu PI_{ABS} i A (Slika 5a i 6a) što je u skladu s prilično niskom koncentracijom Mg u lišću klijanaca iz –Mg tretmana koja je bila na donjoj granici optimalne ishranjenosti (Tablica 1). S obzirom da Mg predstavlja središnji dio molekule klorofila koje grade fotosustave odgovorne za prikupljanje svjetlosti koja se kasnije pretvara u kemijsku energiju nužnu za fiksaciju CO_2 u Calvinovu ciklusu (Taiz i Zeiger 2010) takav rezultat nije iznenađujuć. Uz to, lošija ishranjenost biljaka s Mg obično rezultira opadanjem koncentracije enzima RUBISCO u stromi kloroplasta te njegovim niskim stupnjem aktivacije (Peng i dr. 2015) što kod velikog broja biljnih vrsta rezultira niskom stopom fotosinteze (Lasa i dr. 2000, Yuguan i dr. 2009, Tang i dr. 2012, Jezek i dr. 2015, Li i dr. 2017). Prema tomu, naši su rezultati u skladu s rezultatima ranijih istraživanja prema kojima Mg igra važnu ulogu u svjetlosnim i/ili tamnim reakcijama fotosinteze što se u konačnici može negativno odraziti na stopu asimilacije CO_2 (Laing i dr. 2000, Yang i dr. 2012, Tränkner i dr. 2016).

Važnost Fe u metabolizmu biljaka ogleda se u činjenici da je Fe glavna komponenta biljnoga redoks sustava (Rout i Sahoo 2015), a ujedno je i važno kao sastavni dio velikoga broja proteina i enzima uključenih u fotosintetski proces (Bertamini i dr. 2001). Prema dosadašnjim spoznajama suboptimalna ishranjenost biljaka s Fe ima izrazito negativan utjecaj na cjelokupan fotosintetski proces uključujući svjetlosne i tamne reakcije, što je u literaturi vrlo dobro dokumentirano (Bertamini i dr. 2001 i 2002, Jiang i dr. 2007, Rout i Sahoo 2015). Prema našim rezultatima, pod utjecajem –Fe tretmana u odnosu na KO tretman nije došlo do signifikantnog opadanja prosječnih vrijednosti PI_{ABS} i A (Slika 5a i 6a). Moguće je pretpostaviti da su istraživani klijanci tijekom početne faze svoga razvoja uspjeli iz tla i/ili sjemena usvojiti dovoljnu količinu željeza, što im je bilo dostatno za normalno odvijanje fotosintetskog procesa tijekom cijelog vegetacijskog razdoblja.

ZAKLJUČAK CONCLUSIONS

Prema izmjerenim i analiziranim vrijednostima parametara fotosintetske aktivnosti (g_s , c_i , CCI, PI_{ABS} i A) pri koncen-

traciji N od 1,66 %, P od 0,10 % i Mg od 0,18 % u suhoj tvari lišća bukovih klijanaca došlo je do poremećaja ključnih fizioloških funkcija uključenih u regulaciju fotosintetske aktivnosti, što pri koncentraciji Fe od 65,90 ppm nije bio slučaj. Koncentracije N i P pri kojima je utvrđen poremećaj fizioloških funkcija bile su ispod graničnih vrijednosti optimalne ishranjenosti obične bukve s N (1,90 – 2,50 %) i P (0,15 – 0,30 %), dok je koncentracija Mg bila u granicama optimalne ishranjenosti obične bukve s Mg (0,15 – 0,30 %). Takav rezultat ukazuje na potencijalnu potrebu revizije graničnih koncentracija Mg u lišću klijanaca obične bukve koje bi ukazivale na njihovu optimalnu ishranjenost s Mg za razliku od općenito postavljenih graničnih vrijednosti od strane Bergmann (1993).

S obzirom da je ishranjenost klijanaca s Fe u –Fe tretmanu bila u granicama optimalne ishranjenosti za običnu bukvu (50 – 178 ppm) moguće je pretpostaviti da su istraživani klijanci iz tla prirodne sastojine i/ili iz rezervi uskladištenih u sjemenu tijekom početne faze svoga razvoja uspjeli usvojiti i/ili mobilizirati dovoljnu količinu Fe za normalno funkcioniranje tijekom cijelog vegetacijskog razdoblja, bez obzira na kasniju primjenu našeg tretmana. Isto tako, valja napomenuti da je prilikom ovog istraživanja koncentracija hraniva u suhoj tvari lišća utvrđena samo u jednom uzorku. Iz tog razloga postoji potreba za dodatnim istraživanjem ove problematike, što se planira nastaviti tijekom sljedećih nekoliko vegetacijskih razdoblja. U tom periodu uz već započeto praćenje parametara fotosintetske aktivnosti planira se započeti s praćenjem dinamike vegetativnoga rasta, fenologije listanja i razvoja vizualnih simptoma pod utjecajem suboptimalne ishranjenosti obične bukve s mineralnim hranivima.

LITERATURA REFERENCES

- Aldesuquy, H. S., 2014: Seawater induced decline in photosynthesis as related to chloroplast ultra-structure in flag leaf of difference wheat cultivars during grain filling. *Phyton-annales Rei Botanica*, 54: 83 – 100 str.
- Andres, Z., J. Perez-Hormaeche, E. O. Leidi, K. Schlucking, L. Steinhorst, D. H. McLachlan, K. Schumacher, A. M. Hetherington, J. Kudla, B. Cubero, J. M. Pardo, 2014: Control of vacuolar dynamics and regulation of stomatal aperture by tonoplast potassium uptake. *Proc Natl Acad Sci*, 111: 1806 – 1814 str.
- Anić, I., S. Mikac, 2008: Prirodno pomlađivanje hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) na malim površinama. Zbornik sažetaka znanstvenog savjetovanja Šume hrasta lužnjaka u promijenjenim stanišnim i gospodarskim uvjetima U: S. Matić, I. Anić (ur.). Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, 10 – 11 str. Zagreb.
- Appenroth, K. J., J. Stöckel, A. Srivastava, R. J. Strasser, 2001: Multiple effects of chromate on the photosynthetic apparatus of *Spirodela polyrrhiza* as probed by OJIP chlorophyll a fluorescence measurements. *Environ Pollut*, 115: 49 – 64 str.
- Barker, A., D. Pilbeam, 2007: Handbook of plant nutrition. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, FL.
- Bascuñán-Godoy, L., C. Sanhueza, C. E. Hernández, L. Cifuentes, K. Pinto, R. Álvarez, M. González-Teuber, L. A. Bravo, 2018: Nitrogen supply affects photosynthesis and photoprotective attributes during drought-induced senescence in quinoa. *Front. Plant Sci*, 9: 994 str.
- Berghuijs, H. N., X. Yin, Q. T. Ho, M. A. Retta, P. Verboven, B. M. Nicolai, P. C. Struik, 2017: Localization of (photo) respiration and CO₂ re-assimilation in tomato leaves investigated with a reaction-diffusion model. *PloS one*, 12: 9, e0183746.
- Bergmann, W., 1993: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Entstehung, visuelle und analytische Diagnose. Gustav Fischer Verlag Jena, 1 – 835 str.
- Bertamini, M., N. Nedunchezian, B. Borghi, 2001: Effect of iron deficiency induced changes on photosynthetic pigments, ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase, and photosystem activities in field grown grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Pinot noir) leaves. *Photosynthetica*, 39: 59 – 65 str.
- Bertamini, M., K. Muthuchelian, N. Nedunchezian, 2002: Iron deficiency induced changes on the donor side of PS II in field grown grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Pinot noir) leaves. *Plant science*, 162: 599 – 605 str.
- Cakmak, I., C. Hengeler, H. Marschner, 1994: Partitioning of shoot and root dry matter and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency. *J Exp Bot*, 45: 1245 – 1250 str.
- Carroll, N. J., K. H. Jensen, S. Parsa, N. M. Holbrook, D. A. Weitz, 2014: Measurement of flow velocity and inference of liquid viscosity in a microfluidic channel by fluorescence photobleaching. *Langmuir*, 30: 4868 – 4874 str.
- Carvajal, M., D. T. Cooke, D. T. Clarkson, 1996: Responses of wheat plants to nutrient deprivation may involve the regulation of water-channel function. *Planta*, 199: 372 – 381 str.
- Carvajal, M., V. Martínez, A. Cerdá, 1999: Influence of magnesium and salinity on tomato plants grown in hydroponic culture. *J Plant Nutr*, 22:1, 177 – 190 str.
- Cate, T. M., T. D. Perkins, 2003: Chlorophyll content monitoring in sugar maple (*Acer saccharum*). *Tree Physiol*, 23: 1077 – 1079 str.
- Chen, W. R., J. S. Zheng, Y. Q. Li, 2012: Effect of high temperature on photosynthesis, chlorophyll fluorescence, chloroplast ultra-structure, and antioxidant activities in fingered citron. *Russ J Plant Physiol*, 59: 732 – 740 str.
- Chu, W., W. Zhengquan, S. Hailong, G. Shenglei, 2006: Effects of different concentrations of nitrogen and phosphorus on biosynthesis, chlorophyll a fluorescence, and photosynthesis in *Larix olgensis* seedlings. *Front. For. China*, 2: 170 – 175 str.
- Claussen M., H. Lüthen, M. Blatt, M. Bottger, 1997: Auxin-induced growth and its linkage to potassium channels. *Planta*, 201: 227 – 234 str.
- Drvodelić, D., M. Oršanić, 2019: Izbor kvalitetne šumske sadnice poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl) za umjetnu obnovu i pošumljavanje. *Šumarski list*, 11–12: 577 – 585 str.
- Ellenberg, H., C. Leuschner, 2014: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht, 6th edition. Ulmer Verlag, Stuttgart, 1333 str.
- Eller, F., K. Jensen, C. Reisdorff, 2016: Nighttime stomatal conductance differs with nutrient availability in two temperate floodplain tree species. *Tree Physiol*, 37: 428 – 440 str.
- Evans, J. R., 1989: Photosynthesis and nitrogen relations in leaves C3 plants. *Oecologia*, 78: 9 – 19 str.
- Evans, J. R., S. von Caemmerer, 1996: Carbon dioxide diffusion inside leaves. *Plant physiol*, 110: 339 str.

- Evans, J. R., H. Poorter, 2001: Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. *Plant Cell Environ* 24: 755 – 767 str.
- Faust, F., S. Schubert, 2016: Protein synthesis is the most sensitive process when potassium is substituted by sodium in the nutrition of sugar beet (*Beta vulgaris*). *Plant Physiol Biochem*, 107: 237 – 247 str.
- Flexas, J., M. Ribas-Carbó, A. Dijaz-Espejo, J. Galmés, H. Medrano, 2008: mesophyll conductance to CO₂: current knowledge and future prospect. *Plant Cell Environ*, 31: 602 – 621 str.
- Gallé, A., P. Haldimann, U. Feller, 2007: Photosynthetic performance and water relations in young pubescent oak (*Quercus pubescens*) trees during drought stress and recovery. *New Phytol*, 174: 799 – 810 str.
- Gerardeaux, E., L. Jordan-Meille, J. Constantin, S. Pellerin, M. Dingkuhn, 2010: Changes in plant morphology and dry matter partitioning caused by potassium deficiency in *Gossypium hirsutum* (L.). *Environ Expl Bot*, 67: 451 – 459 str.
- Gessler, A., M. Schaub, N.G. McDowell, 2017: The role of nutrients in drought-induced tree mortality and recovery. *New Phytol*, 214: 513 – 520 str.
- Giuliani, R., N. Koteyeva, E. Voznesenskaya, M. A. Evans, A. B. Cousins G. E. Edwards, 2013: Coordination of leaf photosynthesis, transpiration, and structural traits in rice and wild relatives (Genus *Oryza*). *Plant Physiol*, 162: 1632 – 1651 str.
- Gonçalves, J. F., U. M. Santos Jr, A. R. Nina Jr, L. R. Chevreuil, 2007: Energetic flux and performance index in copaiba (*Copaifera multijuga* Hayne) and mahogany (*Swietenia macrophylla* King) seedlings grown under two irradiance environments. *Braz J Plant Physiol*, 19: 171 – 184 str.
- Grahovac-Tremeski, M., 2018: Seedling production in nurseries of Croatian forests Ltd. 3th Natural resources, green technology and sustainable development. Book of abstracts. 165. str. Zagreb.
- Haase, D. L., 2007: Morphological and Physiological Evaluations of Seedling Quality. USDA Forest Service Proceedings RMRS P-50: 3 – 8 str.
- Haase, D. L., R. W. Rose, J. Trobaugh, 2006: Field performance of three stock sizes of Douglas-fir container seedlings grown with slow release fertilizer in the nursery growing medium. *New Forests*, 31: 1 – 24 str.
- Hanba, Y. T., S. I. Miyazawa, I. Terashima, 1999: The influence of leaf thickness on the CO₂ transfer conductance and leaf stable carbon isotope ratio for some evergreen tree species in Japanese warm-temperate forests. *Funct Ecol*, 13: 632 – 639 str.
- Hanstein, S., X. Wang, X. Qian, P. Friedhoff, A. Fatima, Y. Shan, K. Feng, S. Schubert, 2011: Changes in cytosolic Mg²⁺ levels can regulate the activity of the plasma membrane H⁺-ATPase in maize. *Biochem J*, 435: 93 – 101 str.
- Hoagland, D. R., D. I. Arnon, 1950: The water-culture method for growing plants without soil. *Calif Agric Exp Stn Circ*, 347: 1 – 32 str.
- Hölttä, T., A. Lintunen, T. Chan, A. Mäkelä, E. Nikinmaa, 2017: A steady-state stomatal model of balanced leaf gas exchange, hydraulics and maximal source-sink flux. *Tree physiol*, 37: 851 – 868 str.
- Jacob, J., D. W. Lawlor, 1993: Extreme phosphate deficiency decreases the in vivo CO₂/O₂ specificity factor of ribulose 1, 5-bisphosphate carboxylase-oxygenase in intact leaves of sunflower. *J Exp Bot*, 44: 1635 – 1641 str.
- Jakli, B., E. Tavakol, M. Trankner, M. Senbayram, K. Dittert, 2017: Quantitative limitations to photosynthesis in K deficient sunflower and their implications on water-use efficiency. *J Plant Physiol* 209: 20 – 30 str.
- Jezek, M., C. M. Geilfus, A. Bayer, K. H. Mühling, 2015: Photosynthetic capacity, nutrient status, and growth of maize (*Zea mays* L.) upon MgSO₄ leaf-application. *Front Plant Sci*, 5: 781 str.
- Jiang, C. D., H. Y. Gao, Q. Zou, L. Shi, 2007: Effects of iron deficiency on photosynthesis and photosystem II function in soybean leaf. *Zhi wu Sheng li yu fen zi Sheng wu xue xue bao = Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 33: 53 – 60 str.
- 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. *J Amer Soc Hort Sci* 130: 152 – 158 str.
- Jin, S. H., J. Q. Huang, X. Q. Li, B. S. Zheng, J. S. Wu, Z. J. Wang, G. H. Lia, M. Chen, 2011: Effects of potassium supply on limitations of photosynthesis by mesophyll diffusion conductance in *Carya cathayensis*. *Tree Physiol*, 31: 1142 – 1151 str.
- Kanai, S., R. E. Moghaieb, H. A. El-Shemy, R. Panigrahi, P. K. Mohapatra, J. Ito, T. N. Nguyen, H. Saneoka, K. Fujita, 2011: Potassium deficiency affects water status and photosynthetic rate of the vegetative sink in green house tomato prior to its effects on source activity. *Plant Sci*, 180: 368 – 374 str.
- Lasa, B., S. Frechilla, M. Aleu, B. González-Moro, C. Lamsfus, P. M. Aparicio-Tejo, 2000: Effects of low and high levels of magnesium on the response of sunflower plants grown with ammonium and nitrate. *Plant and soil*, 225: 167 – 174 str.
- Laing, W., D. Greer, O. Sun, P. Beets, A. Lowe, T. Payn, 2000: Physiological impacts of Mg deficiency in *Pinus radiata*: growth and photosynthesis. *New Phytol*, 146: 47 – 57 str.
- Lalonde, S., M. Tegeder, M. Throne-Holst, W. B. Frommer, J. W. Patrick, 2003: Phloem loading and unloading of sugars and amino acids. *Plant Cell Environ*, 26: 37 – 56 str.
- Lavon, R., E. E. Goldschmidt, R. Salomon, A. Frank, 1995: Effect of potassium, magnesium, and calcium deficiencies on carbohydrate pools and metabolism in citrus leaves. *J Am Soc Hort Sci*, 120: 54 – 58 str.
- Lawson, T., 2009: Guard cell photosynthesis and stomatal function. *New Phytol*, 181: 13 – 34 str.
- Lepeduš, H., I. Brkić, V. Cesar, V. Jurković, J. Antunović, A. Jambrović, D. Brkić, D. Šimić, 2012: Chlorophyll fluorescence analysis of photosynthetic performance in seven maize inbred lines under water-limited conditions. *Period Biol*, 114: 73 – 76 str.
- Li, C. P., Y. P. Qi, J. Zhang, L. T. Yang, D. H. Wang, X. Ye, ... L. S. Chen, 2017: Magnesium-deficiency-induced alterations of gas exchange, major metabolites and key enzymes differ among roots, and lower and upper leaves of *Citrus sinensis* seedlings. *Tree Physiol*, 37: 1564 – 1581 str.
- Lu, Z., J. Lu, Y. Pan, P. Lu, X. Li, R. Cong, T. Ren, 2016: Anatomical variation of mesophyll conductance under potassium deficiency has a vital role in determining leaf photosynthesis. *Plant Cell Environ*, 39: 2428 – 2439 str.
- Matić, S., M. Oršanić, I. Anić, 2003: Osnivanje šuma obične bukve. U: S. Matić (ur.), Obična bukva (*Fagus sylvatica* L.) u Hrvatskoj. Zagreb: Akademija šumarskih znanosti, Hrvatske šume d.o.o., Grad Zagreb, Gradski ured za poljoprivredu i šumarstvo, 307 – 325 str.
- Mengutay, M., Y. Ceylan, U. B. Kutman, I. Cakmak, 2013: Adequate magnesium nutrition mitigates adverse effects of heat stress on maize and wheat. *Plant and Soil*, 368: 57 – 72 str.
- Misra, B. B., B. R. Acharya, D. Granot, S. M. Assmann, S. Chen, 2015: The guard cell metabolome: functions in stomatal move-

- ment and global food security. *Front. Plant Sci.* 6: 334 str. doi: 10.3389/fpls.2015.00334
- Mohammad, F., U. Naseem, 2006: Effect of K application on leaf carbonic anhydrase and nitrate reductase activities, photosynthetic characteristics, NPK and NO₃ contents, growth, and yield of mustard. *Photosynthetica*, 44: 471 – 473 str.
 - Pandey J. K., S. K. Dash, B. Biswal, 2017: Loss in photosynthesis during senescence is accompanied by an increase in the activity of β -galactosidase in leaves of *Arabidopsis thaliana*: modulation of the enzyme activity by water stress. *Protoplasma*, 254: 1651 – 1659 str.
 - Peng, H. Y., Y. P. Qi, J. Lee, L. T. Yang, P. Guo, H. X. Jiang, L. S. Chen, 2015: Proteomic analysis of Citrus sinensis roots and leaves in response to long-term magnesium-deficiency. *BMC Genom*, 16: 253 str.
 - 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*). *Arboric Urban For*, 34: 89 – 100 str.
 - Pettigrew, W. T., 1999: Potassium deficiency increases specific leaf weights and leaf glucose levels in field-grown cotton. *Agron J*, 91: 962 – 968 str.
 - Pevalak-Kozlina B., 2003: Fiziologija bilja. Profil, Zagreb, 568 str.
 - Pflug, E., N. Buchmann, R. T. W. Siegwolf, M. Schaub, A. Rigling, M. Arend, 2018: Resilient Leaf Physiological Response of European Beech (*Fagus sylvatica* L.) to Summer Drought and Drought Release. *Front Plant Sci*, 9: 187, doi:10.3389/fpls.2018.00187.
 - Potočić, N., I. Seletković, M. Čater, T. Čosić, M. Šango, M. Vedriš, 2009: Ekofiziološki odziv suncu izloženih sadnica obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) pri različitim razinama gnojide. *Šumarski list*, 5–6: 280 – 289 str.
 - Prpić, B., 2003: Općekorisna uloga bukovih šuma. U: S. Matic (ur.), Obična bukva (*Fagus sylvatica* L.) u Hrvatskoj. Zagreb: Akademija šumarskih znanosti, Hrvatske šume d.o.o., Grad Zagreb, Gradski ured za poljoprivredu i šumarstvo, 213 – 221 str.
 - Pushnik, J. C., G. W. Miller, J. H. Manwaring, 1984: The role of iron in higher plant chlorophyll biosynthesis, maintenance and chloroplast biogenesis. *J Plant Nutr*, 7: 733 – 758 str.
 - Rao, I. M., J. Abadia, N. Terry, 1987: Leaf phosphate status and its effects on photosynthetic carbon partitioning and export in sugar beet. U: J. Biggins (ur.), Progress in Photosynthesis Research. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers, 751 – 754 str.
 - Richter, A. M., I. M. Rao, 2005: Role of Phosphorus in Photosynthetic Carbon Metabolism. U: M. Pessarakli (ur.), Handbook of Photosynthesis. 3rd Edition. Taylor and Francis group, 846 str. Boca Raton.
 - Roelfsema, M. R. G., R. Hedrich, 2002: Studying guard cells in the intact plant: modulation of stomatal movement by apoplastic factors. *New Phytol*, 153: 425 – 431 str.
 - Roth, V., T. Dubravac, I. Pilaš, M. Ocvirek, 2005: Prilog poznavanju rasadničke proizvodnje obične bukve (*Fagus sylvatica* L.). *Rad Šumar inst*, 40 (2): 207 – 214 str.
 - Rout, G. R., S. Sahoo, 2015: Role of iron in plant growth and metabolism. *Reviews in Agricultural Science*, 3: 1 – 24 str.
 - Saccone, P., S. Delzon, P. Jean-Philippe, B. Jean-Jacques, M. Richard, 2009: The role of biotic interactions in altering tree seedling responses to an extreme climatic event. *J Veg Sci*, 20: 403 – 414 str.
 - Sardans, J., R. Alonso, I. A. Janssens, J. Carnicer, S. Vereseglou, M. C. Rillig, M. Fernández-Martínez, T. G. M. Sanders, J. Peñuelas, 2015: Foliar and soil concentrations and stoichiometry of nitrogen and phosphorus across European *Pinus sylvestris* forests: relationships with climate, N deposition and tree growth. *Funct Ecol*, 30: 676 – 689 str.
 - Schmal, J. L., D. F. Jacobs, C. O'Reilly, 2011: Nitrogen budgeting and quality of exponentially fertilized *Quercus robur* seedlings in Ireland. *Eur J For Res*, 130: 557 – 567 str.
 - Seletković, I., 2006: Utjecaj gnojide dušikom, fosforom i kalijem na rast i razvoj sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.). Šumarski fakultet Zagreb. Disertacija, 134 str.
 - Seletković, I., N. Potočić, M. Šango, 2011: Primjenjivost preparata za folijarnu primjenu hungavit u svrhu povećanja kvalitete sadnica obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) i hrasta lužnjaka (*Quercus pedunculata* L.) u rasadničkoj proizvodnji. *Šumarski list*, posebni broj: 239 – 247 str.
 - 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 For*, 47: 513 – 527 str.
 - Sever, K., S. Bogdan, J. Franjić, Ž. Škvorc, 2018: Nedestruktivna procjena koncentracije fotosintetskih pigmenata u lišću hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.). *Šum. List*, 142 (5-6): 247 – 257 str.
 - 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. *Ann For sci* 67:108. doi: 10.1051/forest/2009093
 - Simon, J., M. Dannenmann, R. Pena, A. Gessler, H. Rennenberg, 2017: Nitrogen nutrition of beech forests in a changing climate: importance of plant-soil-microbe water, carbon, and nitrogen interactions. *Plant Soil*, 418: 89 – 114 str.
 - Sitko, K., Ž. Gieroń, M., Szopiński, i dr., 2019: Influence of short-term macronutrient deprivation in maize on photosynthetic characteristics, transpiration and pigment content. *Sci Rep*, 9: 14181.
 - Strauss, A. J., G. H. J. Krüger, R. J. Strasser, P. D. R. Van Heerden, 2006: Ranking of dark chilling tolerance in soybean genotypes probed by the chlorophyll a fluorescence transient OJIP. *Environ Exp Bot*, 56: 147 – 157 str.
 - Sun, J., M. Ye, S. Peng, Y. Li, 2016: Nitrogen can improve the rapid response of photosynthesis to changing irradiance in rice (*Oryza sativa* L.) plants. *Sci Rep*, 6: 31305
 - Syvertsen, J. P., J. Lloyd, C. McConchie, P. E. Kriedemann, G. D. Farquhar, 1995: On the relationship between leaf anatomy and CO₂ diffusion through the mesophyll of hypostomatous leaves. *Plant Cell Environ*, 18: 149 – 157 str.
 - Škvorc, Ž., K. Sever, J. Franjić, D. Krstonošić, M. Poljak, 2012: Intenzitet fotosinteze i vegetativni rast hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u pokusnom nasadu. *Šum List*, 136 (1-2): 7 – 17 str.
 - Taiz, L., Zeiger, E., 2010: Plant Physiology. Fourth Edition. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, Massachusetts.
 - Tang, N., Y. Li, L. S. Chen, 2012: Magnesium deficiency-induced impairment of photosynthesis in leaves of fruiting Citrus reticulata trees accompanied by up-regulation of antioxidant metabolism to avoid photo-oxidative damage. *J Plant Nutr Soil Sci*, 175: 784 – 793 str.
 - Tholen, D., X. G. D. Zhu, 2011: The mechanistic basis of internal conductance: a theoretical analysis of mesophyll cell photosynthesis and CO₂ diffusion. *Plant Physiol*, 156: 90 – 105 str.
 - Tränkner, M., B. Jákli, E. Tavakol, C. M. Geilfus, I. Cakmak, K. Dittert, M. Senbayram, 2016: Magnesium deficiency decreases biomass water-use efficiency and increases leaf water-use effi-

- ciency and oxidative stress in barley plants. *Plant and Soil*, 406: 409 – 423 str.
- Tränkner, M., E. Tavakol, B. Jákli, 2018: Functioning of potassium and magnesium in photosynthesis, photosynthate translocation and photoprotection. *Physiologia Plantarum*, 163: 414 – 431 str.
 - Trinajstić, I., 2003: Taksonomija, morfologija i rasprostranjenost obične bukve. U: S. Matic (ur.), Obična bukva (*Fagus sylvatica* L.) u Hrvatskoj. Zagreb: Akademija šumarskih znanosti, Hrvatske šume d.o.o., Grad Zagreb, Gradski ured za poljoprivredu i šumarstvo, 33 – 47 str.
 - Uscola, M., K. F. Salifu, J. A. Olet, D. F. Jacobs, 2015: An exponential fertilization dose-response model to promote restoration of the Mediterranean oak *Quercus ilex*. *New For*, 46: 795 – 812 str.
 - Van den Burg, J., 1990: Foliar analysis for determination of tree nutrient status – a compilation of literature data. Literature 1985–1989. “De Dorschkamp”, Institute for Forestry and Urban Ecology. Wageningen, the Netherlands, 220 str.
 - Villar-Salvador, P., J. L. Peñuelas, J. L. Nicolás-Peragón, L. F. Benito, S. Domínguez-Lerena, 2013: Is nitrogen fertilization in the nursery a suitable tool for enhancing the performance of Mediterranean oak plantations? *New For*, 44: 733 – 751 str.
 - von Caemmerer, S., J. R. Evans, 1991: Determination of the average partial pressure of CO₂ in chloroplasts from leaves of several C₃ plants. *Aust J Plant Physiol* 18: 287 – 305 str.
 - Vukadinović, V., V. Vukadinović, 2011: Ishrana bilja. Poljoprivredni fakultet Osijek, Osijek, 442 str.
 - Vukelić, J., D. Baričević, 2003: Šumske zajednice obične bukve u Hrvatskoj. U: S. Matic (ur.), Obična bukva (*Fagus sylvatica* L.) u Hrvatskoj. Zagreb: Akademija šumarskih znanosti, Hrvatske šume d.o.o., Grad Zagreb, Gradski ured za poljoprivredu i šumarstvo, 87 – 107 str.
 - Wang, M., L. Ding, L. Gao, Y. Li, Q. Shen, S. Guo, 2016: The interactions of aquaporins and mineral nutrients in higher plants. *Int J Mol Sci*, 17: 1229 str.
 - Warren, C. R., 2004: The photosynthetic limitation posed by internal conductance to CO₂ movement is increased by nutrient supply. *J Exp Bot*, 55: 2313 – 2321 str.
 - Woodruff, d. R., F. C. Meinzer, 2011: Water stress, shoot growth and storage of non-structural carbohydrates along a tree height gradient in a tall conifer. *Plant Cell Environ*, 34: 1920 – 1930 str.
 - Yang, G. H., L. T. Yang, H. X. Jiang, Y. Li, P. Wang, L. S. Chen, 2012: Physiological impacts of magnesium-deficiency in Citrus seedlings: photosynthesis, antioxidant system and carbohydrates. *Trees*, 26: 1237 – 1250 str.
 - Yuguan, Z., Z. Min, L. Luyang, J. Zhe, L. Chao, Y. Sitao, D. Yanmei, L. Na, H. Fashui, 2009: Effects of cerium on key enzymes of carbon assimilation of spinach under magnesium deficiency. *Biol Trace Elem Res*, 131: 154 – 164 str.
 - Zhao, Z., S. M. Assmann, 2011: The glycolytic enzyme, phosphoglycerate mutase, has critical roles in stomatal movement, vegetative growth, and pollen production in *Arabidopsis thaliana*. *J Exp Bot*, 62: 5179 – 5189 str.

SUMMARY

This paper presents the results of measuring parameters that describe the photosynthetic activity of beech seedlings under suboptimal mineral nutrition. The aim of paper was to present the issue of mineral nutrition of forest trees to forestry practice through the discussion of the obtained results in the context of previous knowledge about the impact of mineral nutrition on the photosynthetic process of forest trees. In the early spring of 2019, beech seedlings originating from a natural mixed stand of sessile oak and common beech were transplanted into a sterile substrate (agropperlite). After transplanting, the seedlings were regularly watered (treated) with a complete nutrient solution (KO treatment), and nutrient solutions in which nitrogen (–N treatment), phosphorus (–P treatment), magnesium (–Mg treatment) or iron (–Fe treatment) were omitted. The following parameters were regularly measured on six seedlings within each of the five previously described treatments during the 2019 growing season: rate of photosynthesis (A), stomatal conductance (g_s), intercellular concentration of CO₂ (c_i), relative chlorophyll content index (CCI) and the photosynthetic performance index (PI_{ABS}). All parameters were worse in seedlings from –N, –P and –Mg treatment compared to seedlings from KO treatment. Such a result is probably due to the physiological functions of N, P and Mg that participate in the structure of proteins and enzymes, energy turnover and storage, and the structure of chlorophyll, which together are necessary for the proper functioning of the overall photosynthetic process. Despite the important role of Fe in all life processes of plant, including photosynthesis, all measured parameters in seedlings from –Fe and KO treatments were very similar.

However, unlike N, P and Mg which belong to the group of macronutrients, Fe belongs to the group of micronutrients whose concentrations in plant tissue are relatively low. Therefore, it is possible to assume that the investigated seedlings from natural stand soil and/or from seed reserves during the initial phase of their development could absorb and/or retranslocate enough Fe for normal functioning throughout the growing season, regardless of subsequent treatment. Given such a results, initial monitoring of photosynthetic activity parameters will be continued over the next few growing seasons. In this period, it is planned to start monitoring the vegetative growth dynamics, leaf phenology and the development of visual symptoms under suboptimal mineral nutrition of beech seedlings in order to further approximate this issue to forestry practice

KEY WORDS: *Fagus sylvatica*, beech, seedlings, photosynthesis, mineral nutrients

MODELIRANJE DEBLJINE KORE BUKVE (*Fagus sylvatica* L.)

MODELING BARK THICKNESS OF BEECH (*Fagus sylvatica* L.)

Ahmet LOJO¹, Jusuf MUSIĆ¹, Besim BALIĆ¹, Admir AVDAGIĆ¹, Velid HALILOVIĆ¹, Aida IBRAHIMSPAHIĆ¹,
Jelena KNEŽEVIĆ¹

SAŽETAK

Debljina kore i njen udio u obujmu oblog drva predstavljaju bitne značajke u tehnološkom procesu pridobivanja drva, posebno u fazi preuzimanja drva. S obzirom da je itekako važno raspolagati s relativno točnim podacima ovih značajki kore za pojedine vrste drveća, osnovni cilj ovoga rada je istražiti navedene značajke kore bukve. Istraživanje je provedeno na području Kantona 10, a obuhvatilo je 678 stabla bukve od 10 do 85 cm promjera na prsnoj visini i od 5 do 40 m visine. Mjerenje srednjeg promjera i debljine kore obavljeno je metodom sekcioniranja, a ukupno je izmjereno 6.403 promjera i debljina kore ili 9,4 mjerenja po jednom stablu u prosjeku. Rezultati su pokazali sljedeće: a) povećanjem srednjeg promjera oblog drva dvostruka debljina kore povećava se od 6,05 mm (debljinski razred 12,5 cm) do 20,69 mm (debljinski razred 82,5 cm); b) povećanjem srednjeg promjera oblog drva udio se kore u obujmu eksponencijalno smanjuje od 9,44% (debljinski razred 12,5 cm) do 4,95% (debljinski razred 82,5 cm). Utvrđene razlike u komparaciji s drugim autorima koji su istraživali ove značajke kore bukve, ukazuju na važnost nastavka istraživanja i na drugim područjima u BiH. Na taj način bi se dobili pouzdani rezultati koji bi bili primjenjivi za cijelu državu ili parcijalno za pojedine njene dijelove, ako se razlika između područja pokaže statistički značajnom. Dobiveni rezultati predstavljaju nezaobilaznu polaznu osnovu za izradu tablica kore bukve i novog pravilnika o načinu izmjere oblog drva i utvrđivanja količina.

KLJUČNE RIJEČI: bukva, debljina kore, udio kore, oblo drvo

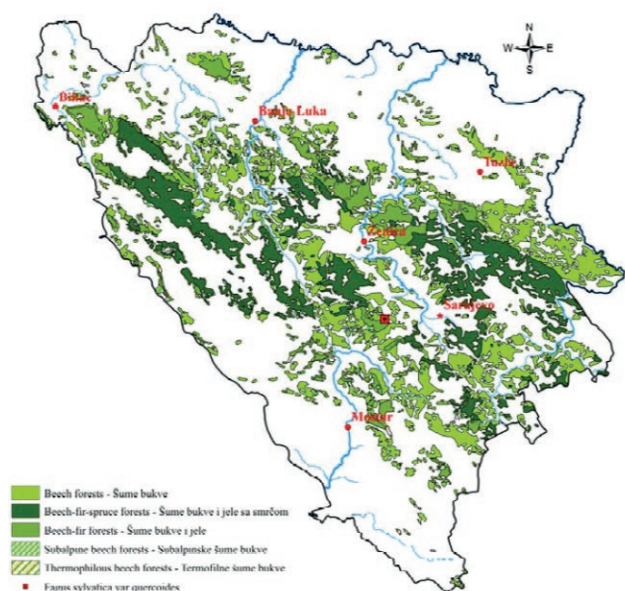
UVOD INTRODUCTION

Europska bukva (*Fagus sylvatica* L.) jedna je od najvažnijih i najrasprostranjenijih vrsta listača u Europi, s prirodnim arealom između 17 i 20 milijuna hektara (Paule 1995). Uporaba bukovog drva je izuzetno velika. Koristi se za proizvodnju različitog namještaja, izradu ljuštenih furnira, željezničkih pragova, raznih vrsta drvnih ploča, parketa, paleta, drvne galanterije, prešanih laminata, preradu celuloze, proizvodnju drvenog uglja itd. S oko 250 poznatih načina uporabe drva, bukva je najraznolikija vrsta listača u Europi glede toga. Kora debela je tanka i

glatka, karakteristične srebrno-sive boje. Ova značajka omogućava pisanje po njoj, pri čemu tragovi ostaju vidljivi dugi niz godina i zasigurno je da su se brojni narodi u Evropi nekada sporazumijevali pisanjem po kori bukve (Trinajstić 2003).

Na temelju podataka provedene Druge nacionalne inventure šuma u BiH, ukupna površina dostupnih šuma gdje je zastupljena bukva iznosi 984.700 ha, sa oko 183.925.200 m³ zalihe. To iznosi 41% od ukupne površine i 40,4% od ukupne zalihe svih dostupnih šuma u BiH, što je čini gospodarski najvažnijom vrstom. Rasprostranjenost šuma u kojima je zastupljena bukva u BiH prikazana je na slici 1.

¹ Prof. dr. Ahmet Lojo, E-mail: a.lojo@sfsa.unsa.ba; Prof. dr. Jusuf Musić, E-mail: j.music@sfsa.unsa.ba; Prof. dr. Besim Balić, E-mail: b.balic@sfsa.unsa.ba; Doc. dr. Admir Avdagić, E-mail: a.avdagic@sfsa.unsa.ba; Prof. dr. Velid Halilović, e-mail: v.halilovic@sfsa.unsa.ba; Prof. dr. Aida Ibrahimspahić, E-mail: a.ibrahimspahic@sfsa.unsa.ba; MA Jelena Knežević, e-mail: j.knezevic@sfsa.unsa.ba, Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Zagrebačka 20, 71000 Sarajevo, BiH.



Slika 1. Karta realne šumske vegetacije neutrofilnih i acidofilnih šuma bukve u BiH (Selimović i Vojniković, prema Stefanović i dr. 1983)

Figure 1. The map of real forest vegetation of neutrophilic and acidophilic beech forest in B&H (Selimović and Vojniković, according Stefanović et al. 1983)

Važnost kore kao vanjskog omotača stabla ogleda se u nekoliko bitnih čimbenika: (1) pruža zaštitu za njegov rast, (2) može se koristiti kao izvor energije ili proizvodnju specijalnih proizvoda (malč, tanini, bojila, farmaceutski proizvodi i dr.) i (3) utječe na ostvarene prihode jer se tehnička oblovinna standardizirano mjeri i prodaje na temelju obujma bez kore. Stoga su znanja o debljini kore i mogućnost što točnije procjene njenog udjela u stablu i drvnim sortimentima izuzetno važna u današnjoj trgovini drvom. Netočne procjene mogu za vlasnika šume rezultirati gubitkom vrijednosti i do 11% (Marshall i dr. 2006). Istraživanja debljine i postotnog udjela kore u obujmu stabala ili oblog drva, između ostalog, potaknuta su i pomakom u pogledu komercijalne važnosti kore od neželjenog ostatka na vrijedno gorivo i izvor biomaterijala visoke vrijednosti (Doraska i dr. 2009) te kora postaje sve važnija za proizvodnju energije iz biomase (Adler 2007).

Značajke kore najizraženije su upravo u tehnološkom procesu pridobivanja drva. Naime, njena debljina i tvrdoća nisu bez značaja u fazi sječe i izrade, a njezin izgled, odnosno vanjska površina, odlučujuća je za veličinu koeficijenta trenja kod privlačenja drva. Također, specifična masa kore veća je od specifične mase drva što djeluje kao negativan faktor kod privlačenja, utovara, prijevoza i istovara tehničke oblovine (Krpan 1986). Ipak, od svih značajki kore, s praktičnog gledišta, svakako je najznačajnija njena debljina.

Prva istraživanja o debljini i obujmu kore proveo je Flurry u Švicarskoj krajem devetnaestog stoljeća. Cilj im je bio utvrđivanje faktora za konverziju obujma s korom u obujam bez

kore, a predstavljala su početak još uvijek aktualnih istraživanja kore različitih vrsta drveća u mnogim dijelovima svijeta (Stängle i dr. 2017). Ranija istraživanja uglavnom su bila fokusirana na procjenu njene debljine na prsnoj visini (Klepac 1957, Klepac 1958, Monserud 1979 i drugi), s obzirom da se ukupan obujam kore stabla može približno izračunati ukoliko se raspolaže s informacijom o njenoj debljini na prsnoj visini. Ipak, u novije vrijeme istraživači se sve više bave i utjecajem drugih čimbenika na debljinu kore kao što su relativna visina stabla, kvaliteta staništa, nadmorska visina, starost i dr. (Wilhelmsson i dr. 2002, Prka 2004, Laasasenaho i dr. 2005, Božić i dr. 2007, Atici 2009, Stankić i dr. 2010, Cellini i dr. 2012, Lojo i dr. 2019, Musić i dr. 2019 i drugi).

Na prostoru bivše Jugoslavije najprije se počelo sa istraživanjem debljine kore listača (Milojković 1953, Klepac 1957, 1958, Bojanin 1972). Naime, propisi o načinu izmjere i utvrđivanja količina te propisi o načinu isporuke oblog drva listača uvjetovali su razumljiv i opravdan interes za što točnijim utvrđivanjem njihove debljine kore i postotnog udjela u obujmu stabala ili oblog drva. Dvostruku debljinu kore bukve na prsnoj visini Klepac (1958) izravnavala linearnom funkcijom, pri čemu zaključuje da na debljinu kore u velikoj mjeri utječu i ekološke prilike te način gospodarenja. Zaključuje da su Meyer-Wegelinovi podaci o debljini bukove kore u Zapadnoj Njemačkoj niži od podataka koje je on dobio i to posebice za tanja stabla, što opravdava važnost provedenih istraživanja. Za bukvu u zapadnoj Hrvatskoj utvrđuje prosječan postotni udio kore u ukupnoj drvnjoj masi od 6,8%. Krpan (1986) je u okviru svojih istraživanja debljinu kore bukve u ovisnosti o srednjem promjeru oblog drva izjednačio parabolom drugog reda. Također, navodi da prosječni postotni udio kore iznosi 6,3% u starijim sastojinama i 5,9% u mlađim sastojinama. Prka (2004) kod bukve u sječinama Bjelovarske Bilogore istražuje postotni udio kore u obujmu tehničke oblovine u ovisnosti o vrsti sjeka te zaključuje da nema značajnih razlika između dvostruke debljine kore ovisno o promjeru u pripremnim, napolodnim i dovršnim sječama. Ovisnost dvostruke debljine kore o promjeru za cijeli uzorak izravnavala linearnom funkcijom. Sve utvrđene debljine kore (apsolutne i relativne) manje su od rezultata koje je dobio Krpan (1986), što objašnjava razlikama u nadmorskoj visini objekata istraživanja i boljim ekološkim prilikama na istraživanom području.

Tezu da lošija životna sredina iskazana tzv. „Site Indeksom“ uvjetuje veću debljinu kore potvrđuju i istraživanja koja je u Turskoj za orijentalnu bukvu (*Fagus orientalis* Lipsky) proveo Atici (2009). U okviru ovih istraživanja utvrđuje prosječan postotni udio kore od 4,75%. Utjecaj ekoloških prilika na debljinu kore orijentalne bukve utvrdili su i Bonyad i dr. (2012). Rezultati njihovih istraživanja pokazali su da je debljina kore bukve bila značajno različita u ovisnosti o geografskim čimbenicima (studijskim područjima), odnosno

Tablica 1. Distribucija ukupnog broja modelnih stabala prema debljinskim i visinskim stupnjevima**Table 1.** Distribution of the total number of model trees according to diameter and height degrees

Promjer (cm)	Visina (m) – Height (m)							n_i	
Diameter (cm)	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	Broj – No	%
12,5	2	26	11	1				40	5,90
17,5	2	28	49	13				92	13,57
22,5		20	54	17				91	13,42
27,5		9	52	28	6			95	14,01
32,5		1	23	35	8			67	9,88
37,5		1	19	40	5			65	9,59
42,5			3	41	9			53	7,82
47,5			2	13	33	2	1	51	7,52
52,5			1	13	30	7		51	7,52
57,5				5	19	6		30	4,42
62,5				1	17	8		26	3,83
67,5					7	2		9	1,33
72,5					2	4	1	7	1,03
82,5							1	1	0,15
Suma – Sum	4	85	214	207	136	29	3	678	
%	0,59	12,54	31,56	30,53	20,06	4,28	0,44	100,0	100,0

maksimalna na sjeveru, a minimalna na jugu, što pripisuju ekološkim varijacijama u tim područjima.

U Bosni i Hercegovini debljinu kore bukve istraživao je Bektić (2015). Ovisnost dvostruke debljine kore o srednjem promjeru oblog drva iskazuje linearnom funkcijom. Za cijeli uzorak prosječni udio kore iznosi 5,20%. Sortimentne tablice za najvažnije vrste drveća koje se koriste u BiH, uz čitav niza drvnih sortimenata sadrže i kategoriju „otpadak”. S praktičnog gledišta ova kategorija može se podijeliti na „pravi otpadak” i gubitke. Pravi otpadak u tom smislu čine različiti neizrađeni dijelovi krupnog drva i piljevina, dok gubitke uzrokuju propisani način izmjere dimenzija i utvrđivanja količina te odbijena dvostruka debljina kore. Analizirajući različite izvore gubitaka obujma izrađene oblovinne smreke zbog propisanog načina izmjere u Hrvatskoj, Poršinsky i Vujeva (2007) su kao izvor najvećeg gubitka identificirali odbitak dvostruke debljine kore. Shodno navedenom za poduzeća šumarstva je izuzetno važno da ti gubici budu što manji, odnosno da se raspolaže što točnijim podacima o debljini kore pojedinih vrsta drveća. Otuda i osnovni motiv za ovo istraživanje.

MATERIJAL I METODE

MATERIAL AND METHODS

Unatoč značaju određenih parametara, kao što su način izmjere debljine kore, veličina uzorka i njegov raspored na istraživanom području, u literaturi im nije posvećena adekvatna pozornost (Stängle i dr. 2016). Husch i dr. (2003) kao generalno pravilo navode da je za utvrđivanje faktora kore na prsnoj visini neophodan uzorak od 20 do 50 stabala. Studije koje istražuju modele koničnosti, koji mogu

uključivati izmjeru promjera sa ili bez kore, iznimno su varijabilne. Ono što je od kritične važnosti je da uzorak treba obuhvatiti variranje debljine kore na području istraživanja uz najniže moguće troškove (Stängle i dr. 2016).

Uzorak ovog istraživanja činilo je ukupno 678 stabala bukve izabranih na širem području unutar državnih raznodobnih sastojina u Kantonu 10. Radi objektivnog istraživanja utjecaja različitih faktora od kojih ovisi debljina kore u uzorak su odabrana samo normalno formirana stabla, odnosno stabla bez vidljivih nepravilnosti na deblu. Prilikom izbora modelnih stabala vodilo se računa da u uzorku budu zastupljena stabla svih debljinskih i visinskih stupnjeva (tablica 1). Osim toga težilo se da u uzorku budu zastupljena stabla bukve sa raznih lokaliteta (općina) shodno njihovom učešću u zalihi bukovih stabala cijeloga područja (tablica 2). Odabrana stabla su mjerena u oborenom stanju metodom sekcioniranja sa sekcijama nejednakih apsolutnih dužina (1–2 m).

Iz tablice 1 je razvidno da su izabrana stabla bukve u rasponu od 10,0 cm do 85,0 cm prsnog promjera te od 5 do 40 metara

Tablica 2: Distribucije broja modelnih stabala po općinama**Table 2.** Distributions of the number of model trees by municipality

Naziv općine Name of the municipality	Broj modelnih stabala Number of model trees
Kupres	77
Livno	126
Glamoč	142
Grahovo	139
Drvar	159
Tomislavgrad	35
UKUPNO	678

visine. Broj stabala u uzorku se smanjuje sa povećanjem debljine što više-manje odgovara debljinskoj strukturi osnovnog skupa. Distribucija broja stabala po visinskim stupnjevima je drukčija i po obliku je slična normalnoj distribuciji. Najzastupljenija su stabla u rasponu od 15 do 25 m visine, dok se prema višim i nižim visinskim stupnjevima njihov broj smanjuje.

Na svakom deblu mjereno je više promjera, počevši od panja, a udaljenost mjesta mjerenja promjera od panja iskazana je u relativnim jedinicama od duljine oborenog debla. Premjerom je obuhvaćena samo drvena masa iznad 7 cm promjera na tanjem kraju bez kore (krupno drvo). Na svakom mjestu na deblu (sekciji) mjereni su:

- srednji promjer s korom (na sredini sekcije) u centimetrima s točnošću na milimetar, unakrsno,
- debljina kore na milimetar točnosti, na mjestima dodira promjerke s deblom.

Prilikom izmjere debljine kore pravljen je tzv. „zates“ (okomit na deblu) do drva da bi se debljina kore mogla jasno vidjeti i precizno izmjeriti (slika 2), a sama izmjera obavljena je pomičnim mjerilom (šublerom). Naime, izmjerom tzv. Švedskim mjeracem kore generalno se precjenjuje njena debljina, jer se pri izmjeri dijelom zadire u drvo, a osjetljiva je i na sezonu uzorkovanja (Althen 1964). Uz to, jako je ovisna o subjektivnom osjećaju snimača (Mesavage 1969) te je potrebna velika vještina pri takvom načinu utvrđivanja debljine kore kako bi se prepoznao trenutak kada sječivo dosegne drvo (Stankić i dr. 2010). Iz navedenih razloga, a koji su potvrđeni i našim probnim radom s ovim instrumentom, odlučeno je da se izmjera obavi na opisani način.

Na uzorku istraživanja od 678 stabala bukve izmjereno je ukupno 6.403 promjera i debljina kore, što je u prosjeku 9,4 izmjera po jednom stablu.

Istraživanje zavisnosti debljine kore od utjecajnih faktora izvršeno je GLM analizom (*Generalized linear models*) koja



Slika 2. Zates na deblu
Figure 2. Notch on stem

istovremeno kombinira metodu analize varijance i regresije. Rezultat GLM analize je kompleksna regresijska jednadžba koja sadrži i parametre uz pojedine kategorijske varijable odnosno slučajeve unutar kategorijskih varijabli. Pri obradi podataka i interpretaciji rezultata korišten je statistički program STATGRAPHICS Centurion XVII. Za obračun postotnog udjela kore u obujmu sekcije (dijela debla) korišten je Meyerov obrazac (Meyer 1946). On je pretpostavio da je oblični broj stabla s korom jednak obličnom broju stabla bez kore i temeljem te pretpostavke izveo sljedeću jednadžbu za obračun postotnog udjela kore:

$$p_k = \left(1 - \frac{d^2}{D^2} \right) \cdot 100 [\%]$$

gdje je:

- p_k – udio kore u obujmu dijela debla,
- d – promjer bez kore i
- D – promjer sa korom.

REZULTATI I RASPRAVA RESULTS AND DISCUSSION

Debljina kore bukve – *Bark thickness of beech*

U skladu s rezultatima ranije provedenih istraživanja o faktorima koji utječu na debljinu kore pretpostavljeno je ona, između ostalog, ovisi i o mjestu mjerenja na deblu, odnosno udaljenosti od panja prema njegovom vrhu. U cilju utvrđivanja ovog utjecaja svako deblu podijeljeno je u 5 sekcija jednakih relativnih duljina (DIO_{debla}). Prva sekcija (1) obuhvaća donju petinu ukupne duljine debla (od panja), druga sekcija (2) obuhvaća iduću petinu itd. Ova hipoteza je provjerena statističkom analizom podataka korištenjem GLM analize. Pri tome je zavisna varijabla bila dvostruka debljina kore (D_{kore} u milimetrima), a kao nezavisne varijable su uzete:

- srednji promjer sekcije (dijela debla) – D_s sekcije (cm) kao kontinuirana varijabla i
- relativna udaljenost promjera sekcije od panja – $DI_{O_{debla}}$ kao kategorijska varijabla.

U statističkoj analizi najprije je provjerena normalnost nezavisne varijable (D_s sekcije) i potreba za potencijalnim transformacijama (Box i Cox 1964). Utvrđeno je da distribucija originalnih podataka odstupa od normalne, a za njihovu optimalnu transformaciju utvrđen eksponent $\lambda = 0,158$. Ista procedura provedena je i za zavisnu varijablu. Utvrđeno je da za postizanje približno normalne distribucije veličina dvostruke debljine kore (D_{kore}) također treba primijeniti potencijalnu transformaciju s eksponentom $\lambda = 0,175$. Nakon provedenih transformacija utvrđen je sljedeći regresijski model s koeficijentom višestruke determinacije $R^2 = 0,741$:

$$\text{BoxCox}(D_{\text{kore}}) = -22,8365 - 0,933113 \cdot \text{I1}(1) - 0,726607 \cdot \text{I1}(2) - 0,273016 \cdot \text{I1}(3) + 0,498806 \cdot \text{I1}(4) + 24,2884 \cdot \text{Ds}_{\text{sekcije}}^{0,158}$$

gdje je:

$$\text{BoxCox}(D_{\text{kore}}) = \frac{D_{\text{kore}}^{0,175} - 1}{0,175 \cdot 8,71857^{-0,825}}$$

I1(1) = 1 ako je $\text{DIO}_{\text{debla}} = 1$, -1 ako je $\text{DIO}_{\text{debla}} = 5,0$ u drugom slučaju

I1(2) = 1 ako je $\text{DIO}_{\text{debla}} = 2$, -1 ako je $\text{DIO}_{\text{debla}} = 5,0$ u drugom slučaju

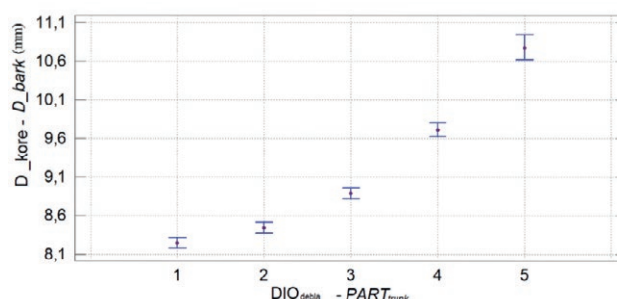
I1(3) = 1 ako je $\text{DIO}_{\text{debla}} = 3$, -1 ako je $\text{DIO}_{\text{debla}} = 5,0$ u drugom slučaju

I1(4) = 1 ako je $\text{DIO}_{\text{debla}} = 4$, -1 ako je $\text{DIO}_{\text{debla}} = 5,0$ u drugom slučaju

U tablici 3 prikazana je analiza varijance modela rezidualnog odstupanja i ukupna varijanca debljine kore. Na osnovi vrijednosti odnosa varijanci (F-odnos) i vjerojatnoće greške („p“-vrijednost), možemo zaključiti da analizirani faktori imaju statistički značajan utjecaj na veličinu dvostruke debljine kore.

U daljnjem postupku analize utjecaja nezavisnih na zavisnu varijablu, a na osnovi rezultata analize komponenti (izvora variranja) i F-odnosa varijanci prikazanih u tablici 4 može se zaključiti da najveći utjecaj na debljinu kore ima izmjereni promjer dijela debla transformiran eksponentom 0,158, a što je i očekivano. Također, može se zaključiti i da varijabla $\text{DIO}_{\text{debla}}$ ima statistički značajan utjecaj na debljinu kore.

Na slici 3 prikazane su prosječne debljine kore za dijelove debla istih promjera ali različite relativne udaljenosti od panja prema vrhu debla i najmanje značajne razlike pri vjerojatnosti od 95%. Vidljivo je da se debljina kore povećava



Slika 3. Prosječne debljine kore i Fisherov LSD interval pojedinih sekcija istog promjera na mjestu mjerenja

Figure 3. Average bark thickness and Fisher LSD intervals of particular sections of the same diameter at the point of measuring

od dna debla prema njegovom vrhu. To znači da komadi drva istog promjera imaju deblju koru ako se nalaze bliže vrhu stabla.

Prema dostupnoj literaturi ovaj utjecaj istraživao je Bojanin (1972) kod jasena, ali nije utvrdio signifikantnu razliku. Utvrđeni utjecaj varijable $\text{DIO}_{\text{debla}}$ na debljinu kore u principu je logičan i uvjetovan je, ponajprije, zakonitostima debljinskog prirasta. Naime, debljinski prirast duž debla stabala najmanji je na određenoj visini, ispod ili iznad prsne visine. Visina najmanjeg debljinskog prirasta ovisi o starosti, debljini stabla i uvjetima staništa. Prema vrhu i prema podnožju stabla od tog mjesta (visine) debljinski prirast se povećava i najveći je na vrhu stabla (Guttenberg, prema Matić 1980). Činjenica da povećanje debljinskog prirasta prati i povećanje debljine kore govori u prilog dobivenim rezultatima.

Matematički model primjenljiv u šumarskoj praksi – *Mathematical model applicable in forestry practice*

Prethodno utvrđeni matematički model, nažalost, ima samo znanstveni značaj bez aplikativnog karaktera. Naime,

Tablica 3. Analiza varijance za debljinu kore bukve regresijskog modela

Table 3. The analysis of variance for the thickness of the beech bark of the regression model

Izvor variranja <i>Source of variability</i>	Varijanca <i>Sum of squares</i>	Stupanj slobode <i>Deg. of freedom</i>	Sredina kvadrata <i>Mean Square</i>	F – odnos <i>F – ratio</i>	„p“ vrijednost <i>“p” value</i>
Model – <i>Model</i>	64957,7	5	12991,5	3656,06	<0,0001
Rezidual – <i>Residual</i>	22731,3	6397	3,55343		
Ukupno – <i>Total (Corr.)</i>	87689,0	6402			

Tablica 4. GLM analiza utjecaja nezavisnih na zavisnu varijablu u regresijskom modelu

Table 4. GLM analysis of the influence of independent variables on the dependent variable in the regression model

Izvor variranja <i>Source of variability</i>	Varijanca <i>Sum of squares</i>	Stupanj slobode <i>Deg. of freedom</i>	Sredina kvadrata <i>Mean Square</i>	F – odnos <i>F – ratio</i>	p – vrijednost <i>p – value</i>
$\text{DIO}_{\text{debla}} - \text{PART}_{\text{trunk}}$	1809,84	4	452,459	127,33	<0,0001
$\text{Ds}_{\text{sekcije}}^{0,158} - \text{Dm}_{\text{sekcije}}^{0,158}$	48300,5	1	48300,5	13592,64	<0,0001
Rezidual – <i>Residual</i>	22731,3	6397	3,55343		
Ukupno – <i>Total (Corr.)</i>	87689,0	6402			

Tablica 5. Parametri funkcije procjene dvostruke debljine kore bukve i njihovi statistički pokazatelji

Table 5. Parameters of the double bark thickness estimation function and their statistical indicators

Parametar <i>Parameter</i>	Veličina <i>Estimate</i>	Standardna greška <i>Standard Error</i>	t – statistički <i>t – statistic</i>	p – vrijednost <i>p – value</i>
Sl. član (a) – <i>Intercept</i>	0,638098	0,0119696	53,3101	<0,0001
b -uz nezavisnu varijablu – <i>Slope</i>	0,557834	0,00432687	128,923	<0,0001

Tablica 6. Analiza variance

Table 6. Variance analysis

Izvor variranja <i>Source of variability</i>	Varijanca <i>Sum of quares</i>	Stupanj slobode <i>Deg. of freedom</i>	Sredina kvadrata <i>Mean Square</i>	F – odnos <i>F – ratio</i>	p – vrijednost <i>p – value</i>
Model – <i>Model</i>	467,52	1	467,52	16621,21	<0,0001
Rezidual – <i>Residual</i>	180,047	6401	0,0281279		
Ukupno – <i>Total (Corr.)</i>	647,567	6402			

kada se radi o njegovoj praktičnoj primjeni za procjenu debljine kore kod izmjere dimenzija i preuzimanja oblog drva sa stovarišta, nije poznato iz kojeg dijela debla potječu pojedini komadi. Stoga je ovaj model trenutno neprimjenjiv u operativnom radu u šumarstvu bez izmjene pravila i propisa identifikacije i označavanja oblog drva. Zbog toga je izrađen model za procjenu dvostruke debljine kore na osnovi samo jedne nezavisne varijable – promjer dijela debla s korom (D_s sekcije), koja u šumarskoj praksi BiH, uz izmjeru duljine, služi kao osnova za utvrđivanje obujma oblog drva. Kao i u prethodno opisanom postupku nezavisna varijabla (D_s sekcije) korištena je u svojoj transformiranoj formi. Nakon provjere više jednostavnih regresijskih modela kao optimalan model odabran je sljedeći:

$$D_{\text{kore}}^{0,175} = \sqrt[0,175]{0,638098 + 0,557834 \cdot D_{S\text{sekcije}}^{0,158^2}} \text{ ili}$$

$$D_{\text{kore}} = \left(\sqrt[0,175]{0,638098 + 0,557834 \cdot D_{S\text{sekcije}}^{0,158^2}} \right)^{5,7143}$$

Za odabranu funkciju regresije koeficijent determinacije je $R^2 = 0,722$. Prema tomu, izostavljanjem utjecajnog faktora

DIO_{debla} izgubljeno je samo oko 1,9% objašnjenja varijabilnosti debljine kore. Utvrđene veličine statističkih pokazatelja koje su prikazane u tablicama 5 i 6 ukazuju na visoku statističku značajnost parametara modela.

Ovisnost dvostruke debljine kore bukve o srednjem promjeru sekcije po izabranoj funkciji prikazana je na slici 4.

Za odabrani model su izračunata odstupanja stvarnih od procijenjenih veličina dvostruke debljine kore (reziduali), a na temelju njih standardna devijacija ($S_d = 2,15$ mm) i standardna pogreška procjene ($S_e = 0,027$ mm). Analiza reziduala pokazala je da nema njihovog sistematskog odstupanja ni u jednom dijelu domena funkcije (slika 5), a relativno mali broj slučajeva prelazi veličinu $\pm 3S_d$.

Udio kore u obujmu oblog drva – *Bark share in the volume of roundwood*

I udio kore u obujmu oblog drva je vrlo korisna veličina u šumarskoj praksi, jer je, između ostalog, primjena odgovarajućih tablica postotnog udjela kore jedan od standardiziranih načina redukcije obujma oblog drva s korom. U

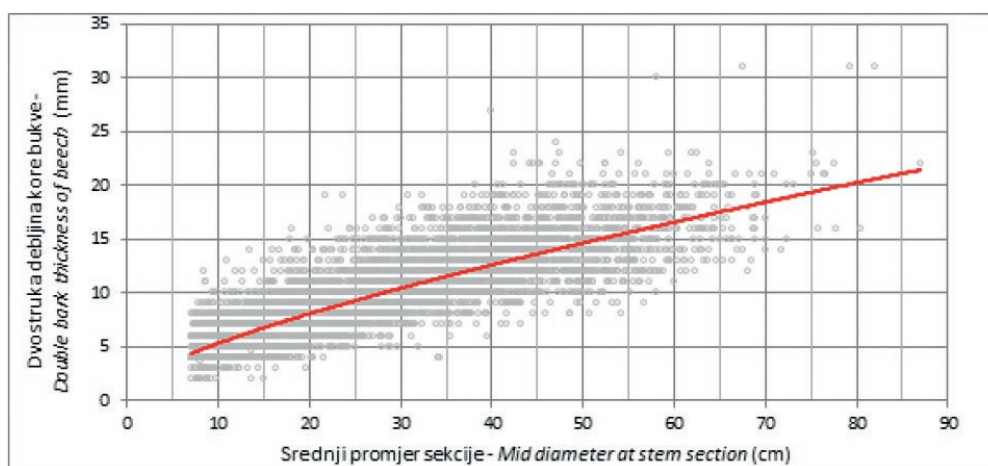
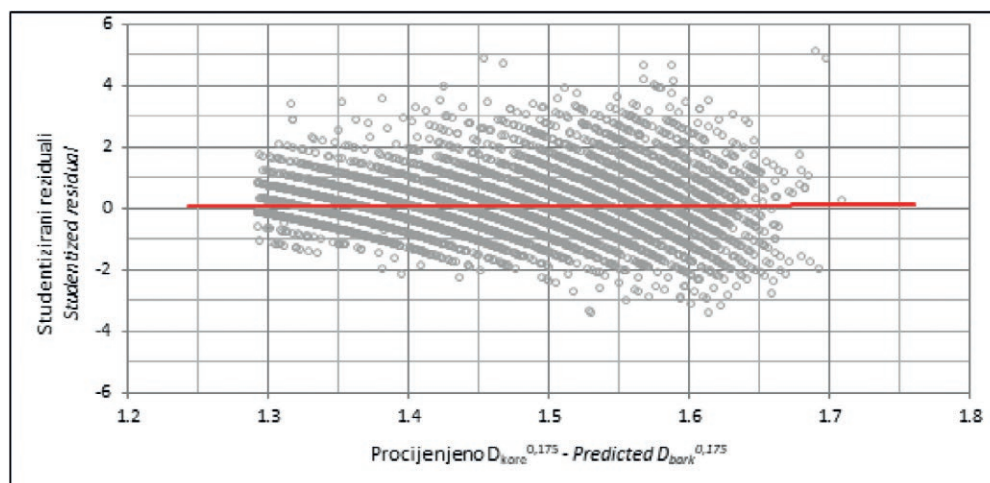
**Slika 4.** Dvostruka debljina kore bukve u ovisnosti o srednjem promjeru sekcije debla

Figure 4. Double bark thickness of beech depending on mid diameter at stem section



Slika 5. Odstupanja studentiziranih reziduala od modela procjene dvostruke debljine kore

Figure 5. Studentized residual deviations from the double bark thickness estimation model

vezi s ovim izvršen je obračun postotnog udjela kore bukve u obujmu sekcije (oblog drva) ovisno o promjeru po Meyerovoj formuli. Promjeri bez kore dobiveni su odbijanjem dvostruke debljine kore koja je izračunata po utvrđenom matematičkom modelu, a dobivene veličine postotnog udjela kore bukve u obujmu oblog drva, kao i dvostruka debljina kore ovisno o srednjem promjeru oblog drva prikazani su u tablici 7.

Iz podataka je vidljivo smanjivanje postotnog udjela kore s povećanjem srednjeg promjera. Ponajprije razlog za ovakvu vezu je činjenica da je prirast drva veći od prirasta kore, pa stabla većih promjera imaju postotno manji udio kore u

obujmu u odnosu na tanja stabla (Prka 2004). Važno je napomenuti da su, s obzirom na način obračuna postotnog udjela kore (Meyerova formula), rezultati toliko točni koliko je točna procijenjena debljina kore.

Na osnovi rezultata prikazanih u tablici 7 može se zaključiti da su oni logični i da potvrđuju ranije ustanovljene relacije istraživanih obilježja – debljina kore bukve povećava se s rastom srednjeg promjera oblog drva, dok se njen postotni udio u obujmu smanjuje. Komparirajući dobivene rezultate s rezultatima drugih autora, može se zaključiti da postoje značajne razlike u debljini kore bukve između pojedinih zemalja, pa čak i između različitih regija u istoj zemlji (npr. Hrvatska), te da se ove razlike povećavaju s rastom srednjeg promjera oblog drva.

Prosječni postotni udio kore bukve u obujmu krupnog drva u ovom istraživanju iznosi 5,73% i za 18,7% je veće od rezultata koje je za bukvu u Hrvatskoj dobio Prka (2004) te za 9,6% veće od rezultata Bektića (2015) za BiH. Navedene razlike ukazuju na važnost nastavka istraživanja debljine i postotnog udjela kore u obujmu tehničke oblovine i na drugim područjima u BiH kako bi se dobili pouzdaniji rezultati koji bi bili primjenjivi za cijelu državu ili parcijalno za pojedine njene dijelove, ako se razlika između područja pokaže statistički značajnom.

Dobiveni rezultati jasno ukazuju na sve manjkavosti uobičajene prakse odbijanja kore u šumarstvu F BiH. Naime, u šumarskoj praksi ne postoji nikakvo pravilo u vezi s odbijanjem kore pri izmjeri drvnih sortimenata zasnovano na odgovarajućim znanstvenim ili stručnim istraživanjima, već je to prepušteno paušalnim procjenama i/ili navodnom iskustvu uposlenika. Ovakav način izmjere drva opterećen je nedopustivo velikim pogreškama procjene, apsolutno je nepregledan i netransparentan te kao takav omogućava razne malverzacije. Posebno je ovim problemom opterećena

Tablica 7. Dvostruka debljina i udio kore bukve u obujmu oblog drva ovisno o njegovom srednjem promjeru

Table 7. Double bark thickness and share of beech bark depending on mid diameter of roundwood

Srednji promjer oblog drva <i>Mid diameter of roundwood</i> (cm)	Dvostruka debljina kore <i>Double bark thickness</i> (mm)	Udio kore u obujmu oblog drva <i>Share of bark in round wood volume</i> (%)
12,5	6,05	9,44
17,5	7,42	8,30
22,5	8,68	7,56
27,5	9,86	7,04
32,5	10,99	6,65
37,5	12,08	6,34
42,5	13,13	6,08
47,5	14,14	5,87
52,5	15,14	5,68
57,5	16,11	5,52
62,5	17,06	5,38
67,5	17,99	5,26
72,5	18,90	5,15
77,5	19,81	5,05
82,5	20,69	4,95

izmjera i prodaja trupaca za rezanje, koji po ukupnoj vrijednosti predstavljaju najznačajniju grupu šumskih drvnih sortimenata.

ZAKLJUČCI CONCLUSIONS

Na osnovi rezultata istraživanja i rasprave o njima mogu se izdvojiti sljedeći bitniji zaključci:

U radu je pri modeliranju debljine kore bukve analiziran utjecaj srednjeg promjera dijela debla (oblog drva) i njegove udaljenosti od panja na debljinu kore. Provedenom GLM analizom utvrđeno je da oba navedena faktora imaju statistički značajan utjecaj na debljinu kore uz koeficijent višestruke determinacije od $R^2 = 0,741$.

Debljina kore dijelova debla istog promjera raste s povećanjem njihove udaljenosti od panja prema vrhu debla, što je uvjetovano zakonitostima debljinskog prirasta.

Najveći utjecaj na debljinu kore ima izmjereni promjer oblog drva. Odabrana funkcija regresije za procjenu dvostruke debljine kore u ovisnosti o srednjem promjeru oblog drva bukve ima koeficijent determinacije $R^2 = 0,722$.

Na osnovi odabrane funkcije jednostavne regresije izvršen je obračun dvostruke debljine kore i njenog postotnog udjela u obujmu oblog drva u ovisnosti o njegovom srednjem promjeru. Debljina kore raste s povećanjem srednjeg promjera od 6,05 mm (debljinski razred 10-15 cm) do 20,69 mm (debljinski razred 80-85 cm). Postotni udio kore u obujmu oblog drva opada s rastom srednjeg promjera od 9,44% (debljinski razred 10-15 cm) do 4,95% (debljinski razred 80-85 cm).

Dobiveni rezultati predstavljaju nezaobilaznu polaznu osnovu za izradu tablica kore bukve i novog pravilnika o načinu izmjere oblog drva i utvrđivanja količina. U trenutnim odnosima šumarstva i prerade drva izrada ovog pravilnika nameće se kao nužna i prioritarna.

LITERATURA REFERENCES

- Adler A., 2007: Accumulation of Elements in Salix and Other Species Used in Vegetation Filters with Focus on Wood Fuel Quality, Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, 34 p., Uppsala.
- Althen, F.W., 1964: Accuracy of the Swedish bark measuring gauge, For. Chron., 40(2): 257-258.
- Atici, E., 2009: Bark Thickness and Ratio in Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) Forests, Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 59(2): 59-84.
- Bektić, A., 2015: Debljina i zapreminsko učešće kore u drvenoj masi krupnog drveta bukve (*Fagus sylvatica* L.) na području GJ „Ogara-Gunjača“, Master rad, Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu, 49 str., Sarajevo.
- Bonyad, A.E., A. Sima, A. Bakhshandeh, H. Dadras, 2012: Evaluation of non-destructive Meyer method for determination of bark volume of beech (*Fagus orientalis* Lipsky) in different geographical aspects, Casp. J. of Envir. Scien., 10(1): 67-73.
- Box, G.E.P., D.R. Cox, 1964: An Analysis of Transformations, Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological), 26(2): 211-252.
- Bojanin, S. 1972: Debljina i postotak kore oblovene poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Wahl.), Šumarski list, 7-8: 267-277.
- Božić, M., J. Čavlović, M. Vedriš, M. Jazbec, 2007: Modeliranje debljine kore stabala obične jele, Šumarski list, 1-2: 3-12.
- Cellini, J.M., M. Galarza, S.L. Burns, G.J. Martinez-Pastur, M.V. Lencinas, 2012: Equations of bark thickness and volume profiles at different heights with easy-measurement variables, Forest Systems, 21(1): 23-30.
- Doruska, P.F., D. Patterson, J. Hartley, M. Hurd, T. Hart, 2009: Newer technologies and bioenergy bring focus back to bark factor equations, J. For., 107: 38-43.
- Husch, B., T.W. Beers, J.A. Kershaw, 2003: Forest Mensuration, 4th Ed., John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 443 p.
- Klepac, D., 1957: Istraživanja o debljini kore u šumama hrasta lužnjaka i kitnjaka, Šumarski list, 3-4: 90-106.
- Klepac, D., 1958: Funkcionalni odnos između debljine kore i prsnog promjera za naše važnije listopadno drveće, Šumarski list, 7-9: 251-267.
- Krpan, A.P.B., 1986: Kora bukve sa stanovišta eksploatacije šume, Zbornik savjetovanja „Kolokvij o bukvi“, Velika, 22.-24. 11. 1984. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 77-88 str. Zagreb.
- Laasasenaho, J., T. Melkas, S. Aldén, 2005: Modelling bark thickness of *Picea abies* with taper curves, For. Ecol. Manage., 206:35-47.
- Lojo, A., J. Musić, B. Balić, A. Avdagić, V. Halilović, A. Ibrahimspahić, J. Knežević, 2019: Debljina i udio kore u zapremini oblog drveta jele (*Abies alba* Mill.), Naše šume, 54-55: 5-18.
- Marshall, H., G.E. Murphy, K. Boston, 2006: Evaluation of the economic impacts of length and diameter measurement error on mechanical processors and harvesters operating in pine stands. Can. J. For. Res., 36: 1661-1673.
- Matić, V., 1980: Prirast i prinos šuma, Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu, 351 str. Sarajevo.
- Meyer, H., 1946: Bark volume determination in trees, J. For., 44(12):1067-1070.
- Milojković, D. 1953: Istraživanje oblika i zapremine belog jasena (*Fraxinus excelsior*) u Ravnom Sremu, Glasnik Šumarskog fakulteta u Beogradu, 6: 127-194.
- Mesavage, C., 1969: Measuring bark thickness, J. For., 67(10): 753-754.
- Monserud R.A., 1979: Relations between inside and outside bark diameter at breast height for Douglas-fir in Northern Idaho, USDA Forest Service Research Note INT-266.
- Musić, J., A. Lojo, B. Balić, A. Ibrahimspahić, A. Avdagić, J. Knežević, V. Halilović, 2019: Modelling Bark Thickness of Norway Spruce (*Picea abies* Karst), South-East Eur. For., 10(2): 125-135.
- Paule, L., 1995: Gene conservation in European Beech (*Fagus sylvatica* L.), Forest Genetics, 2(3):161-170.

- Poršinsky, T., J. Vujeva, 2007: Gubici obujma izrađene smrekove oblovine zbog propisanoga načina izmjere, *Nova meh. šumarstva*, 28(1): 37-47.
- Prka, M., 2004: Debljina kore obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) u sječinama Bjelovarske Bilogore, *Šumarski list*, 7-8: 391-403.
- Stängle, S.M., U.H. Sauter, C.F. Dormann, 2017: Comparison of models for estimating bark thickness of *Picea abies* in southwest Germany: the role of tree, stand, and environmental factors, *Ann. For. Sci.*, 74:16.
- Stängle, S.M., A.R. Weiskittel, C.F. Dormann, F. Brüchert, 2016: Measurement and prediction of bark thickness in *Picea abies*: assessment of accuracy, precision, and sample size requirements, *Can. J. For. Res.*, 46(1): 39-47.
- Stankić, I., S. Kovač, T. Poršinsky, 2010: Značajke kore podravske crne johe, *Nova mehanizacija šumarstva*, 31(1): 27-36.
- Stefanović, V., V. Beus, Č. Burlica, H. Dizdarević, I. Vukorep, 1983: Ekološko-vegetacijska rejonizacija Bosne i Hercegovine, *Šumarski fakultet u Sarajevu*, posebna izdanja 17, 51 str., Sarajevo.
- Trinajstić, I., 2003: Taksonomija, morfologija i rasprostranjenost obične bukve. In: Matić S. (ed), *Obična bukva u Hrvatskoj*, Akademija šumarskih znanosti, 33-56 str., Zagreb.
- Wilhelmsson, L., J. Arlinger, K. Spångberg, S.-O. Lundqvist, T. Grahm, O. Hadenberg, L. Olsson, 2002: Models for Predicting Wood Properties in Stems of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* in Sweden, *Scand. J. For. Res.*, 17: 330-350.

SUMMARY

Thickness and share in volume of tree and/or round wood represent the most important features of the bark, especially in the process of timber harvesting, during scaling of processed logs. In forestry of Federation of B&H there are no rules or tables for deduction of double bark thickness based on scientific research. Wood assortments tables for our most important tree species, besides a whole series of wood assortments, also contain the category of waste. From a practical point of view this category can be divided into "real waste" and losses. The real waste in this sense consists of various logging slash and sawdust, while the loss constitutes a prescribed method of measuring the dimensions and calculation of volume and the deduction of the double bark thickness. So, it is very important to have relatively accurate data of the bark thickness for certain tree species. Therefore, the objective of this paper is to explore double bark thickness and share of bark in the volume of beech round wood. The research was carried out in the area of the Canton 10 of Federation of B&H. The research included 678 sample trees from 10 cm to 85 cm diameter breast height (DBH) and from 5 m to 40 m of height with 6,403 pairs were measured for double bark thickness and diameter in the middle of the round wood (section). Data of double bark thickness in relation to mid diameter of round wood were equalized by following equation with coefficient of determination $R^2=0.722$.

The results of research confirmed the regularities defined in previous research and has shown as follows: a) by the increase of mid diameter of round wood, double bark thickness increases from 6.05 mm (thickness class 12.5 cm) to 20.69 mm (thickness class 82.5 cm), b) by the increase of mid diameter of round wood, bark share in the volume decrease exponentially from 9.44 % (thickness class 12.5 cm) to 4.95 % (thickness class 82.5 cm). The research have indicated the need to use the results and incorporating it into applicable rules of deducting the bark on logs or share of bark in the volume depending on diameter over the bark.

KEY WORDS: beech, bark thickness, bark share, round wood



Originalni STIHL lanci za pile: vrhunska kvaliteta i pouzdanost

STIHL kvaliteta razvoja: STIHL je jedini proizvođač motornih pila u svijetu koji je sam razvio svoje lance i vodilice. Na taj način se osigurava savršena usklađenost svih triju komponenti prilikom rada- pile, lanca i vodilice.

STIHL proizvodna kvaliteta: STIHL lanci izrađeni su "Švicarskom preciznošću" u STIHL tvornici u Wilu (Švicarska). Proizvode se na specijalnim strojevima koje su također razvijeni i proizvedeni od strane firme STIHL.

Vrhunska rezna učinkovitost: STIHL- ovi lanci za pile neće svoju kvalitetu i preciznost u rezanju pokazati samo na STIHL motornim pilama, nego i na pilama drugih proizvođača.

EVALUATION OF THE EFFECTS OF SOME WATERSHED CHARACTERISTICS ON WATER AND SUSPENDED SEDIMENT YIELD IN AGRICULTURAL AND FOREST DOMINATED WATERSHEDS

PROCJENA UTJECAJA NEKIH ZNAČAJKI SLIVA OBILJEŽENIH
DOMINANTNO ŠUMARSTVOM I POLJOPRIVREDOM NA
OTJECANJE VODE I PRODUKCIJU SUSPENDIRANOG EROZIJSKOG
NANOSA

Tarik ÇİTGEZ^{1*}, Refik KARAGÜL¹, Mehmet ÖZCAN¹

SUMMARY

Topography, geological structure and land use play a determinative role in the streamflow and total suspended sediment yield of watersheds having similar climate, soil and vegetation characteristics. In order to facilitate sustainable water resource management and effective land use planning, there is an increasing need for research investigating the effects of these factors. This study was carried out in forested and agricultural dominated subwatersheds of the Big Melen watershed in the Western Black Sea Region of Turkey. Hazelnut plantations are grown on most of the agricultural areas in both watersheds. The forested watershed has a steep topography and its geological structure consists of sandstone-mudstone and sedimentary rock. The agricultural watershed area is larger and unlike the forested watershed, there is argillaceous limestone in its geological structure. The precipitation, streamflow and total suspended sediment yield in the watersheds were measured for two years. The total precipitation of the study area over the two years was 2217.3 mm. The water yield of the forested watershed was 867.6 mm, while that of the agricultural watershed was 654.9 mm. In the two years, the total suspended sediment transported from the forested watershed was 19.51 t ha⁻¹ and from the agricultural watershed 7.70 t ha⁻¹. However, except for the high values measured after an extreme rainfall event, the unit surface suspended sediment yield of the agricultural watershed was found to be higher than that of the forested watershed. These findings showed that watershed characteristics such as slope, geological structure and rainfall intensity may be more effective on the streamflow and total suspended sediment yield of the watersheds than land use.

KEY WORDS: Big Melen watershed, land use, suspended sediment yield, watershed characteristics, water yield

INTRODUCTION

UVOD

Many factors such as precipitation, land use, topography, geological structure, and soil are effective on the streamflow and sediment yield of watersheds (Zhang et al., 2010, 2014;

Ebabu et al., 2018). Accordingly, it can be said that land use, geological structure, and topography are the determinative factors controlling precipitation-streamflow relationships for watersheds that have similar vegetation types, precipitation, and soil characteristics. When the effects of one of

¹ Dr. Tarik Çitgez, Dr. Refik Karagül, Assoc. Prof. Dr. Mehmet Özcan, Department of Forest Engineering, Faculty of Forestry, Düzce University, 81620 Düzce, Turkey.

*Corresponding author: tarikcitgez@duzce.edu.tr; Telephone: +90-380-5421137

these factors are combined with other factors, the results obtained may vary from region to region (Wang et al., 2018). Therefore, for effective watershed management planning and sustainable water resources management, further studies are needed to determine how various factors affect the water and sediment yield of the watershed (Yan et al., 2013).

Among land use types, forests are known to play a very important role in the hydrological processes of watersheds (Li et al., 2017; Shi et al., 2018). Studies on watersheds in various countries (Swank et al., 2001; Siriwardena et al., 2006; Serengil et al., 2007; Ganatsios et al., 2010; Wei and Zhang, 2010; Nadal-Romero et al., 2016; Yu et al., 2019), review articles (Bosch and Hewlett, 1982; Brown et al., 2005; Cui et al., 2012; Li et al., 2017; Zhang et al., 2017), and hydrological model simulations (Yu et al., 2010; Can et al., 2015) have shown that treatments in forests such as clear cutting, thinning, and changing the land use affect water yield positively, whereas afforestation has a negative effect. Another study investigating the contribution of different vegetation types to the watershed water yield determined that forests provided the lowest contribution to water yield (Liu et al., 2011; He et al., 2012).

The hydrological responses of watersheds to increasing or decreasing of forest areas may not be the same. In fact, some researchers working on this subject in different countries have reached a common conclusion that the response of watersheds to forest change is quite variable and that watershed characteristics differ as well (Chen et al., 2010; Nipgen et al., 2011; Price, 2011; Zhang and Wei, 2014; Karlsen et al., 2016; Liu et al., 2016; Duan and Cai, 2018; Li et al., 2018). Warburton et al. (2012), who investigated the hydrological impacts of land use change, reported that the contribution of land use to watershed streamflow is not proportional to the land use area and suggested that the location of the changing land use in the watershed may affect the response on the streamflow. Therefore, it is not correct to make generalizations because hydrological processes are complex and results may vary from watershed to watershed (Zhang and Wei, 2014).

It has been stated in watershed scale studies that compared to forest land, agricultural land use causes an increase in water yield; in other words, the rate of water loss in forested areas is higher than that of agricultural land (Zhang et al., 2010; Lana-Renault et al., 2011; Yan et al., 2013; Dias et al., 2015; Shi et al., 2018). Contrary to these studies, Rientjes et al. (2010) found a decrease in the water yield although it had been 32 years since the forested land in the watershed had been turned into agricultural lands. They maintained that the reason for this was that the decrease in annual rainfall amount and the change in the distribution of dry and wet season rainfall. Chow et al. (2011) found that the ave-

rage annual water yield of forested watersheds was higher than that of agricultural watersheds and that this may have been related to the soil and water conservation measures applied in agricultural areas. Sriwongsitanon and Taesombat (2011) found that as the percentage of forest increased, the runoff coefficient between the watersheds increased for large flood events, and decreased for small flood events, and they associated this with the antecedent moisture content of the forest soils being higher.

In studies comparing the hydrological relationships in different watersheds, the effects of the watershed characteristics are striking. In a study conducted in 23 watersheds, Zhang et al. (2014) found a positive correlation between the runoff coefficient and the slope and a negative correlation between the runoff coefficient and proportion of carbonate rock. Wang et al. (2018) found that the surface flow, base flow, and streamflow of the steep sloped forested watershed were higher than of flat sloped agricultural watershed. However, in 29 watersheds, Zengin et al. (2017) found no significant relationship between the runoff coefficient and slope and some other watershed characteristics. Peng and Wang (2012) reported that the surface flow and soil loss of karstic slopes were lower than in non-karstic slopes.

The factors that have a significant impact on the sediment yield of watersheds are also quite diverse and are known to vary region to region. In order to understand the relationship between these factors and sediment yield, a large number of measurements for different precipitation-streamflow events and seasons are needed over a long period of time (Nearing et al., 2007; Sadeghi et al., 2008). Therefore, as they vary greatly depending on time and site, watersheds sediment yields have a complex process (Nufang et al., 2011; Bywater-Reyes et al., 2018; Ehabu et al., 2018). Agricultural and forested areas have a significant effect on the total suspended sediment (TSS) carried from the watersheds. Many studies have found a positive relationship between TSS and agricultural areas and a negative relationship between TSS and forest areas (Ahearn et al., 2005; Yan et al., 2013; Kibena et al., 2014). Chow et al. (2011) found that the annual average suspended sediment yield increased from watersheds with low agricultural intensity to those with high agricultural intensity. Erdoğan et al. (2018) determined that the average monthly suspended sediment concentration in streamwater increased after 18% forest thinning.

Turkey ranks first among the few countries in the world that produce hazelnuts and the country's largest hazelnut production areas are located in the Black Sea region. The research watersheds consist of two adjacent subwatersheds of the Big Melen in the Western Black Sea Region. The Big Melen Stream is the most important source of water for Istanbul, one of the most populous metropolitan areas in

the world (Karakaya and Evrendilek, 2010; Akiner and Akoyunlu, 2012).

The aim of this study was to investigate the effect of various watershed characteristics on the water and TSS yields of forest and agricultural (hazelnut) dominated watersheds and thus, to contribute to the sustainable management of water resources.

MATERIALS AND METHODS

MATERIJALI I METODE

Description of study watersheds – Opis istraživanih slivova

The study was carried out in two adjacent subwatersheds of the Big Melen watershed situated in Duzce Province in the Western Black Sea Region of Turkey, located between 40°53'19"– 40°55'24" North latitude and 30°58'20"– 31°02'12" East longitude (Fig. 1).

The study watersheds have similar climate characteristics. According to the Thornthwaite climate classification, Duzce Province is classified as B1B'2sb'4, i.e., it is humid, moderately mesothermal, and under an ocean climate effect, with a moderate water deficit in summer. The average annual

precipitation is 827.4 mm, with most precipitation occurring from October to January. The average annual temperature is 13.4 °C. July is the hottest month with an average temperature of 22.6 °C and January the coldest with an average of 3.8 °C (Zengin et al., 2017; Karagül and Çitgez, 2019). In a one-year study conducted in Duzce region, total rainfall, throughfall, stemflow and interception amount were investigated in beech forests for leafed and leafless periods (Yılmaz, 2014). In this study, total rainfall, throughfall, stemflow and interception amount were found to be 339.1, 218.3, 51.1, 69.6 mm for the leafed season, while 505.8, 383.7, 57.2, 12.8 mm for the leafless season, respectively.

The major land use types in the watersheds are agriculture and forest. The land use types in the agricultural watershed (AW) consist of 27% forest, 70% agriculture, and 3% settlement, and in the forested watershed (FW) 64% forest and 36% agriculture. The main natural tree species in the forest areas are beech (*Fagus orientalis* Lipsky), oak (*Quercus* sp.) and hornbeam (*Carpinus betulus* L.). Canopy coverage of 60-80 years old forests is higher than 70%. Hazelnuts are grown on most of the agricultural areas in the watersheds. Planting density of hazelnut plantation is 4x4 m (Fig. 2).

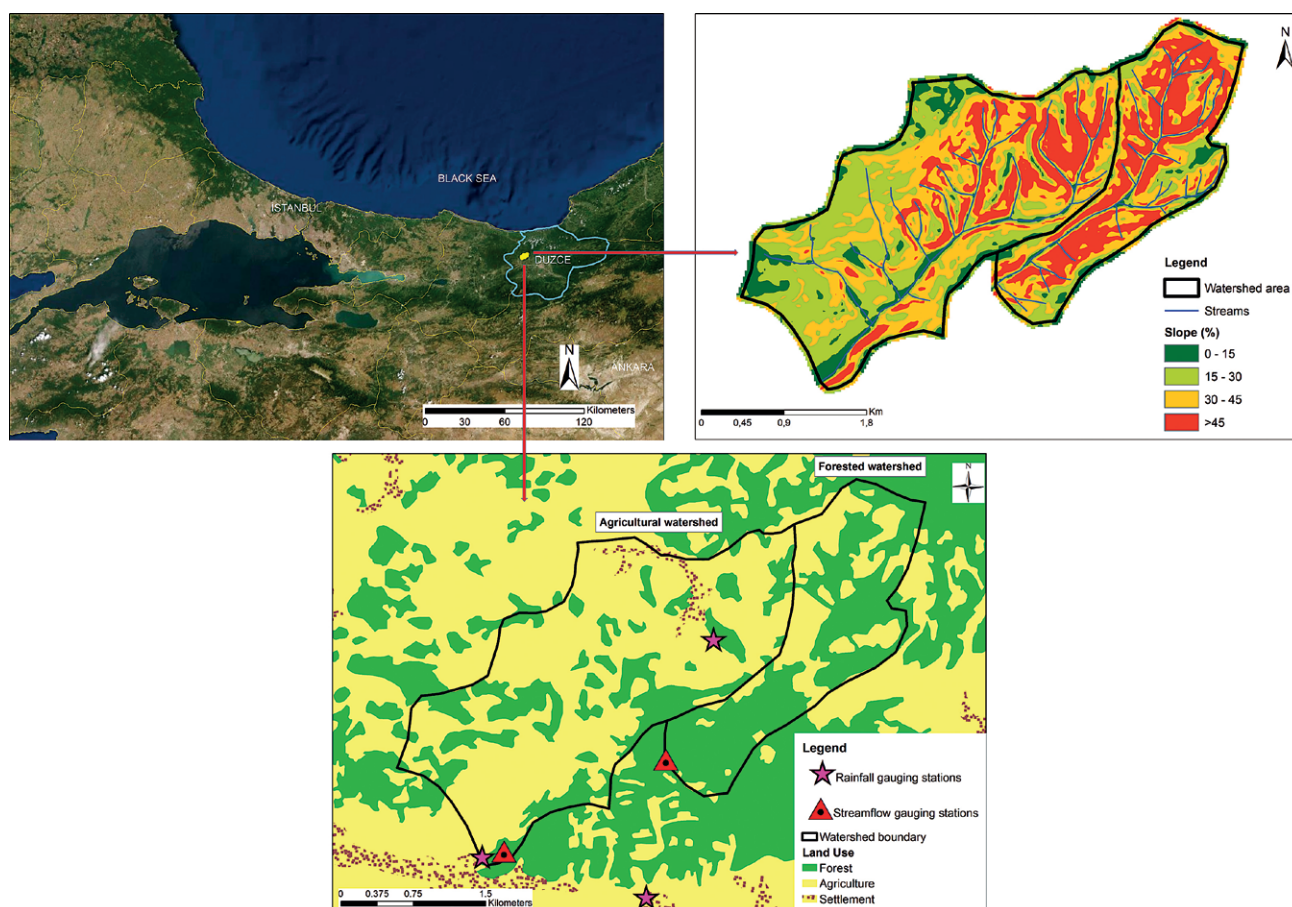


Figure 1. Location, land use and topography characteristics of study watersheds

Slika 1. Lokalizet, uporaba zemljišta i topografija istraživanih slivova



Figure 2. View of hazelnut and forest areas in the watersheds

Slika 2. Pogled na područja lješnjaka i šume u slivovima

The watersheds soil is generally shallow and has a heavy clay content. Soil samples were collected from three soil depths (0-20 cm, 20-40 cm, 46-60 cm) from twelve profile pits excavated in each of the watersheds. The mean soil textures found in the FW are 31% sand, 23% silt, and 46% clay and in the AW, 33% sand, 18% silt, and 49% clay. Moreover, the clay content is higher in the subsoil. The geolo-

gical structure of the entire FW and nearly half of the AW consists of Lower Ordovician and Lower Eocene sandstone-mudstone, shelf and sedimentary rock groups, while that of the other half of the AW is Lower Eocene argillaceous limestone, shelf and sedimentary rock groups (GDMRE, 2002). In some parts of the AW, limestone bedrock is found on the surface and the soil depth drops to 20 cm.

Table 1. Some characteristics of the two watersheds

Tablica 1. Neke značajke dvaju slivova

Metrics <i>Metrika</i>	Forested (FW) <i>Šumski</i>	Agricultural (AW) <i>Poljoprivredni</i>
Area (ha) – <i>Površina (ha)</i>	334	714
Length (km) – <i>Duljina (km)</i>	3.72	4.54
Mean elevation (m) – <i>Prosječna visina (m)</i>	422	341
Mean slope (%) – <i>Prosječni nagib (%)</i>	43	32
Area with slope >30% (Jahn et al., 2006) (% of total) – <i>Područje s nagibom >30% (% od ukupnog)</i>	74.0	52.2
Main channel slope (%) – <i>Nagib glavnog korita (%)</i>	15	9
Total number of streams – <i>Ukupni broj vodotokova</i>	32	27
Total stream length (km) – <i>Ukupna dužina vodotoka (km)</i>	13.66	18.32
Drainage density (km/km ²) – <i>Gustoća mreže vodotokova (km/km²)</i>	4.09	2.56
Stream frequency – <i>Frekvencija vodotokova</i>	9.59	3.78
Concentration time (min, Kirpich) – <i>Vrijeme koncentracije</i>	27.2	40.8
Soil texture – <i>Tekstura tlo</i>	Clay	Clay
Geological structure – <i>Geološka struktura</i>	Sandstone-Mudstone	Argillaceous limenstone-Sandstone-Mudstone
Proportion of land use types (% of total area) – <i>Odnos vrsti korištenja zemljišta (% ukupnog područja)</i>		
Forest – <i>Šuma</i>	64% (214 ha)	27% (194 ha)
Agriculture (Hazelnut cultivation) – <i>Poljoprivreda</i>	36% (120 ha)	70% (499 ha)
Settlement – <i>Naseljena mjesta</i>	–	3% (21 ha)

The AW area is larger than that of the FW. For the FW and AW, the elevation is between 210–780 m and 140–600 m a.s.l., respectively. The mean watershed slope, main channel slope, drainage density and stream frequency values of the FW are higher than those of the AW. According to the Kirpich (1940), the FW has a short concentration time. The watershed characteristics, determined by digitizing 1/25000 scale topographic and stand maps in ArcGIS software, are shown in detail in Table 1.

Precipitation, streamflow and total suspended sediment (TSS) measurements – *Mjerenje količine oborina, otjecanja vode i produkcije suspendiranog erozijskog nanosa (TSS)*

Precipitation was measured with three monitoring rain gauges (Tipping Bucket Rain Gauge, RG-200, Akim Hydrometry Co.) placed in sheltered areas at the upper and lower part of the watersheds (He et al., 2012; Nadal-Romero et al., 2016). Using the precipitation data, the average monthly precipitation of the study area was estimated according to the Thiessen polygon method (Liu et al., 2016; Duan and Cai, 2018).

Water level and discharge measurements were performed in both watershed outlets where the streamflow gauging stations were installed before the settlement sites. The water level was measured by automatic water level recorders (OEL-104, Akim Hydrometry Co.) (Serengil et al., 2007; Gökbülak et al., 2008; Durán Zuazo et al., 2012). These devices recorded the water level at 30-min intervals for two years (Fig. 3). Thus, 48 items of level data were obtained per day. The sediment accumulated at these gauging stations was cleaned at regular intervals to ensure that the water level recorders were measuring accurately.

Discharges were determined using velocity-area method. Streamflow velocity (m s^{-1}) was measured with a small current meter (MCM-02, Akim Hydrometry Co.) at four different points of the cross section every fifteen days or after a precipitation events and then average velocity was found. Thus, discharges ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) for various water levels in the watersheds were calculated (Coulter et al., 2004; Zengin et al., 2017; Ebabu et al., 2018). Water samples taken at the same time as the discharge measurements were later evaporated in a drying oven. This evaporation method was used to find the TSS concentration per 100 mL of water (Gökbülak et al., 2008; Erdoğan et al., 2018).

Calculation of streamflow and TSS yields – *Kalkulacija otjecanja vode i produkcije TSS*

In order to determine the water yields of the watersheds, regression equations were produced showing the relationship between the measured discharges and water levels. These equations were used to estimate the unmeasured discharge values corresponding to the 30-min water level data recorded over the two years. The monthly average discharge values were found and then the monthly and annual water yields were determined for the watersheds (Özhan, 2004; Zengin et al., 2017). The runoff coefficients of the watersheds were determined for 2014 and 2015 based on the total precipitation and water yield data. The TSS yield of the watersheds was calculated by multiplying the monthly average suspended sediment concentration and the monthly water yield.

Statistical analyses – *Statistička analiza*

We conducted an independent t-test using SPSS to determine the differences between watersheds for two years in terms of monthly water yield and monthly TSS yield.



Figure 3. Streamflow gauging station installed in the FW (left) and the AW (right)
Slika 3. Mjerna stanica vodotokova u FW (lijevo) i AW(desno)

RESULTS AND DISCUSSION

REZULTATI I RASPRAVA

Water level-discharge relationship in study watersheds – *Odnos razine vode i otjecanja u istraživanim slivovima*

Discharge measurements were made 46 times at various water levels in the watersheds. In June 2014, a heavy rainfall event (108.2 mm 24h⁻¹) had occurred and water level in the watersheds had risen above 100 cm. Consequently, the discharge measurement could not be performed due to strong water and sediment flow. The highest discharge measurements in the FW and AW were realized at water levels of 18.5 cm and 21 cm, respectively. Regression equations

and graphs in Figure 4 show the relationship between measured discharge and water level in the watersheds. The R² value of the equation for both watersheds was above 0.95. This strong relationships shows the availability of these equations in the calculation of the watershed water yields (Zengin et al., 2017).

Precipitation-streamflow relationships in watersheds – *Odnosi oborina-vodotokova u slivovima*

With the increase in the amount of precipitation, the watershed water yield increased, but the response of the streamflow to similar precipitation amounts varied seasonally. The highest monthly rainfall in the study area was 194.1 mm (January 2015) and the lowest was 13.9 mm (July

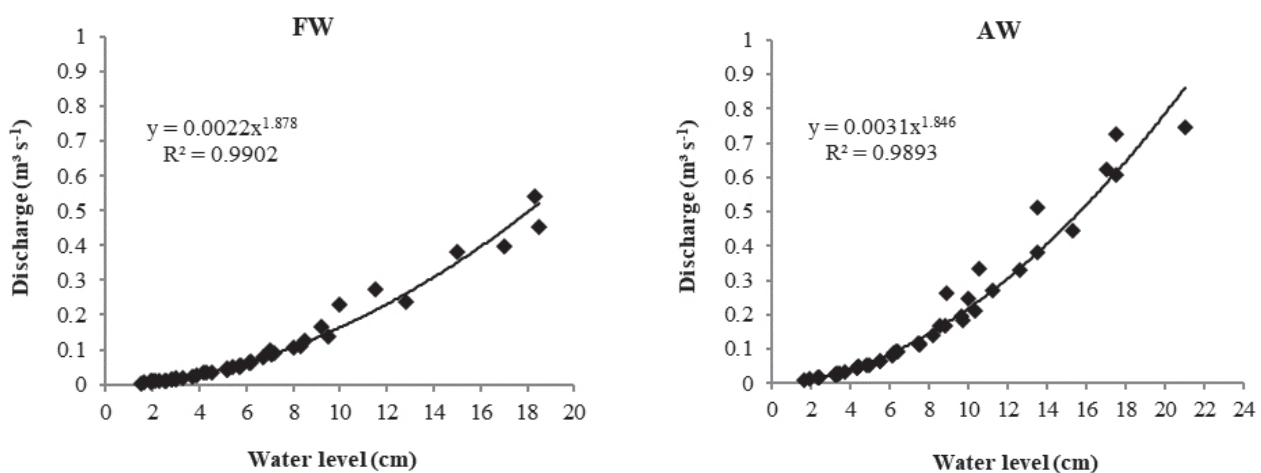


Figure 4. Relationship between measured discharge and water level in the watersheds

Slika 4. Odnos između izmjerene otjecanja i razine vode u slivovima

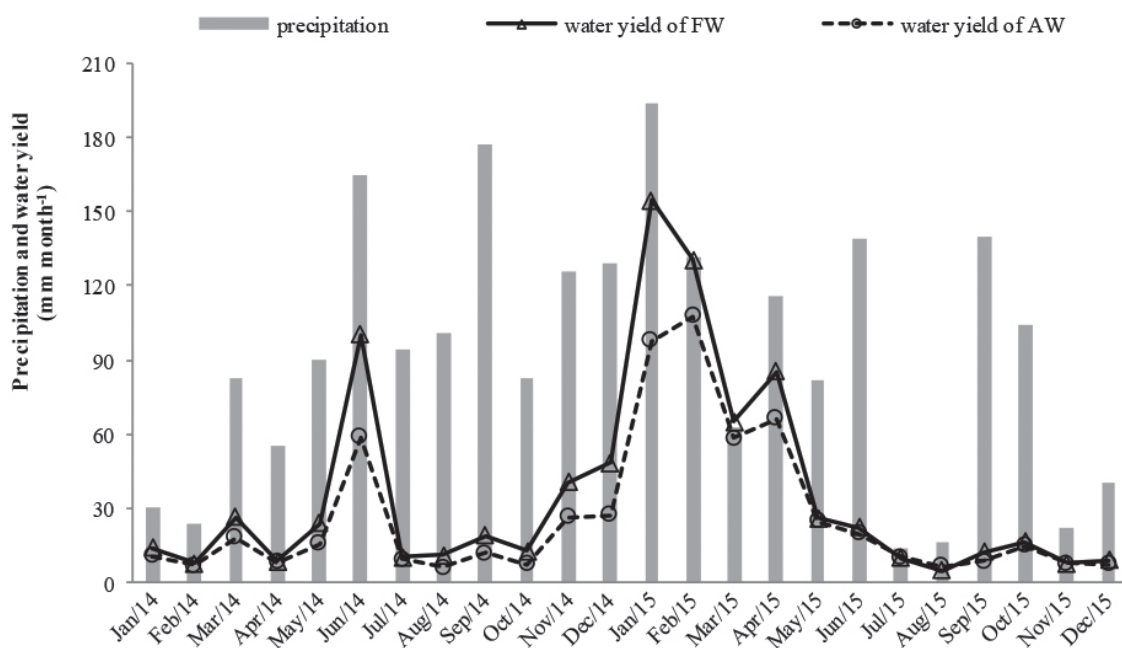


Figure 5. Monthly precipitation and water yield of the watersheds

Slika 5. Mjesečne oborine i otjecanje vode u slivovima

2015). In the FW, the monthly maximum and minimum water yields were 154.6 mm (January 2015) and 4.9 mm (August 2015), whereas in the AW these values were 107.8 mm (February 2015) and 6.0 mm (August 2014) (Fig. 5).

Although the total amount of precipitation measured in the research area in 2015 was lower compared to 2014, an increase was observed in water yields of the watersheds. In 2014, with a total rainfall of 1156.9 mm, a water yield of 323 mm occurred in the FW and 224.6 mm in the AW. In 2015, despite a total rainfall of 1060.4 mm, a water yield of 544.6 mm occurred in the FW and 430.3 mm in the AW. This was due to the melting of the accumulated snow as a result of heavy snowfall in late December 2014 and in January, February and March of 2015. Thus, the snowmelt contributed to the water flow in the streams, which led to higher water yield values in these months compared to the amount of rainfall (Fig. 5).

The two-year average runoff coefficients of the FW and AW were calculated as 0.39 and 0.30, respectively. The two-year total water yield of FW and AW was 2.89 and 4.55 million m^3 , respectively. Although the area of the AW is twice as large, the 2-year total water yield was approximately 1.5 times bigger than that of the FW. According to the t-test, there is no significant difference between watersheds for two years in terms of monthly water yield, flow coefficient and unit surface flow ($P > 0.05$). However, with the exception of July and August 2015, the unit surface water yield of the FW was higher than that of the AW. In a similar study conducted in Canada, water yields ranging from an agricultural dominated watershed to a forest dominated watershed were found to be 0.588, 0.849 and 0.901 million $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year}$, respectively

(Chow et al., 2011). This may have resulted from increased evapotranspiration due to intensive cultivation and management of the agricultural areas, or to increased infiltration through from diversion terraces and grassed waterways. One study investigated the effect of land use and precipitation regime on surface flow and soil loss on karst hill slopes over a four-year period and found the annual surface runoff coefficient of the forested slope to be lower than agricultural slope in the first two years and higher in the last two years (Peng and Wang, 2012). As a result of this, it has been suggested that surface flow and soil loss in agricultural areas are very low for many rainfall events due to improved infiltration capacity of the soil by tillage, and that high runoff and soil loss occur in these areas only with heavy rainfall events. However, in the present study, it is thought that the land use had little effect on the lower water yield of the AW because partial and surface tillage is carried out for fertilization purposes in the hazelnut areas.

Although the difference between the water yields of the watersheds was great during the rainy period, it was less during the dry period. The response of the watersheds to precipitation varied seasonally. For example, when a 41-hour precipitation event occurred in November 2014 under moist soil conditions, the peak flow level of the FW was higher than that of the AW, and it reacted to the precipitation in a short time (Fig. 6). In July 2015, under dry conditions, the AW reacted to a 2-hour precipitation event in a shorter period, but the peak flow level was lower than that of the FW (Fig. 7). These findings are similar to the results of a study conducted in 11 subwatersheds of a river basin in Thailand (Sriwongsitanon and Taesombat, 2011). The researchers

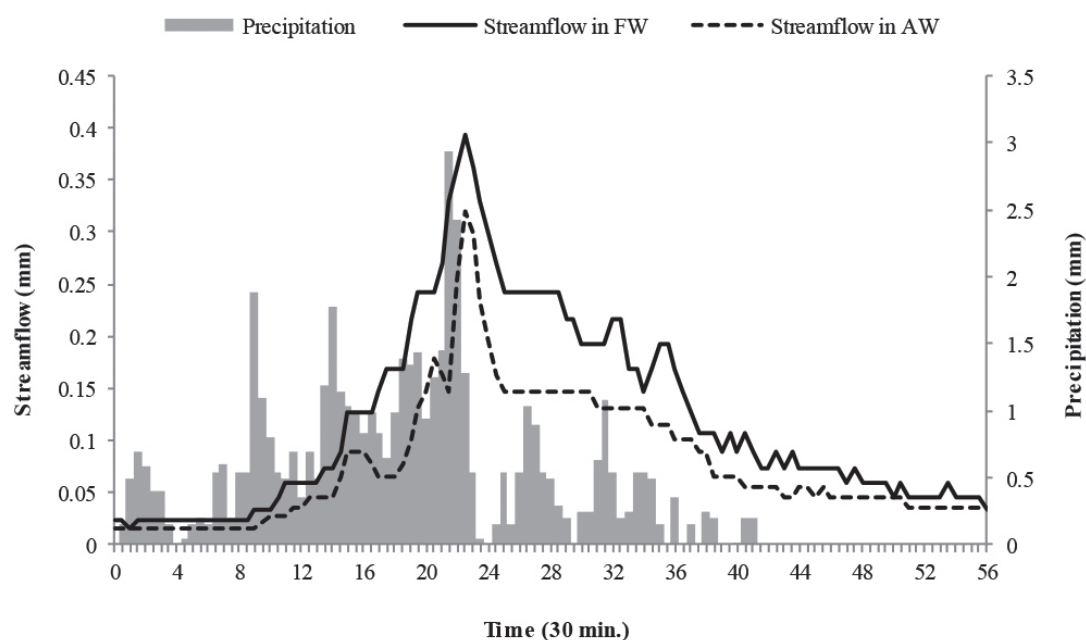


Figure 6. Temporal change of streamflow in 41-hour precipitation event under moist soil condition

Slika 6. Vremenska promjena otjecanja vode tijekom 41-satnog oborinskog događaja u uvjetima mokrog tla

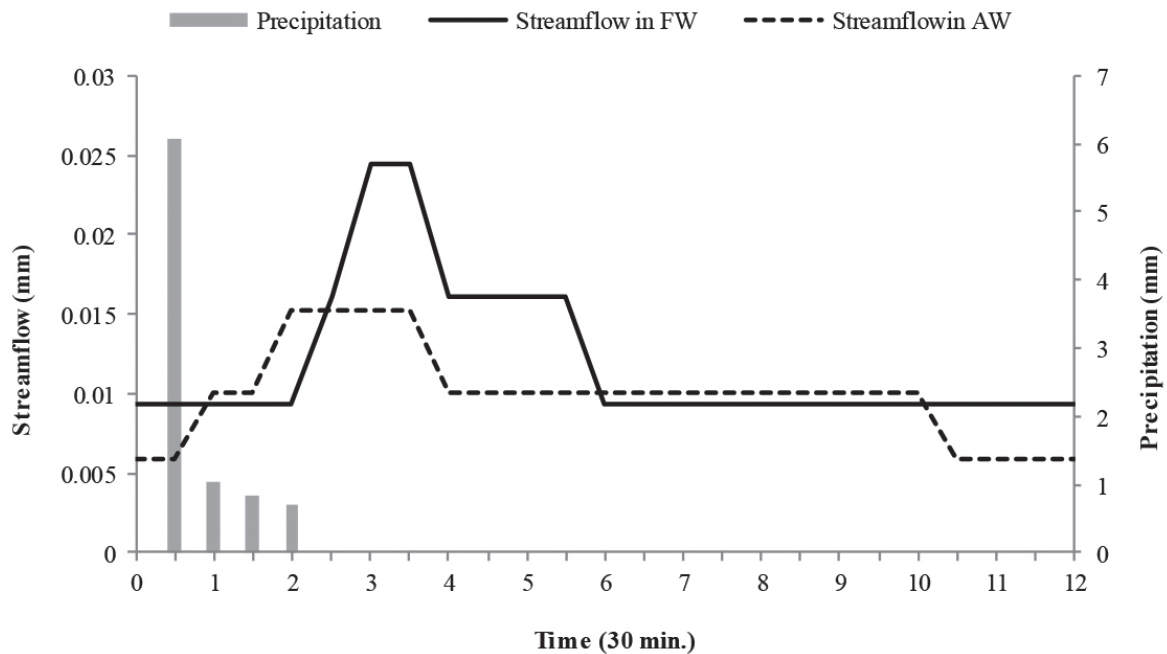


Figure 7. Temporal change of streamflow in 2-hour precipitation event under dry soil condition

Slika 7. Vremenska promjena otjecanja vode u 2-satnom oborinskom događaju u uvjetima suhog tla

found that a high forest cover reduced the runoff coefficient for smaller flood events, while for larger flood events, a high forest cover increased the runoff coefficient compared to agricultural areas due to increased antecedent soil moisture content and subsequent reduction of the moisture retention capacity. In this study, the streamflow of the FW was found to be high for many precipitation events. Similarly, Wang et al. (2014) examined the effect of land use change on runoff generation in two basins by using hydrological model and stated that forest areas have positive effect on runoff generation.

One of the important reasons for the low unit surface water yield of the AW may be the large area covered by limestone bedrock. As a matter of fact, it has been stated that the fissures and fractures in limestone on karst slopes play an important role in surface flow due to their large storage capacity and high infiltration rate (Peng and Wang, 2012). In a study conducted in karst watersheds in China, it was determined that carbonate rock reduced the runoff coefficient (Zhang et al., 2014).

However, in this study, the main reason for the high unit surface water yield of the FW in both wet and dry seasons, compared to that of the AW, was that the values were high for the watershed slope, main channel slope, drainage density and stream frequency, whereas they were low for the watershed area, stream length and flow concentration time. This result is consistent with the findings of studies conducted in other countries. For example, Chen et al. (2010) found that of two forested watersheds, the one on a steep slope generated a more runoff and has a larger quick flow

rate than the watershed on a slight slope. Similarly, Liu et al. (2016) reported that the effect of reforestation on the hydrological response was limited and slower in the steeper watershed than the other. This means that in general, steep sloped watersheds have higher streamflow than slight sloped watersheds (Nippgen et al., 2011; Zhang et al., 2014; Wang et al., 2018). Zhang and Wei (2014) found that the varying hydrological responses of two neighboring watersheds where forest harvesting was at a similar level were related to the topography, geology and highly heterogeneous climate characteristics of these watersheds. Zhang et al. (2010) studied watersheds of different sizes and found that measures to reduce surface runoff such as reforestation and terracing in agricultural areas were similarly effective in large watersheds at different rainfall levels, whereas they were less effective in small watersheds at high precipitation levels.

Total suspended sediment (TSS) yields of watersheds – *Produkcija suspendiranog erozijskog nanosa (TSS) u slivovima*

The relationship between the average monthly discharge and the TSS yields of the watersheds was strong and significant ($R^2 = 0.65$ and $P < 0.05$ for FW; $R^2 = 0.77$ and $P < 0.05$ for AW) (Fig. 8). Gökbülak et al. (2008) and Bywater-Reyes et al. (2018) have also found similar results in their studies. Accordingly, it can be seen that the TSS yield increased with increasing discharge in both watersheds. However, different factors were effective on the amount of TSS in the FW. Therefore, in order to more reliable relationship, more data collection is required at the peak flows in watersheds.

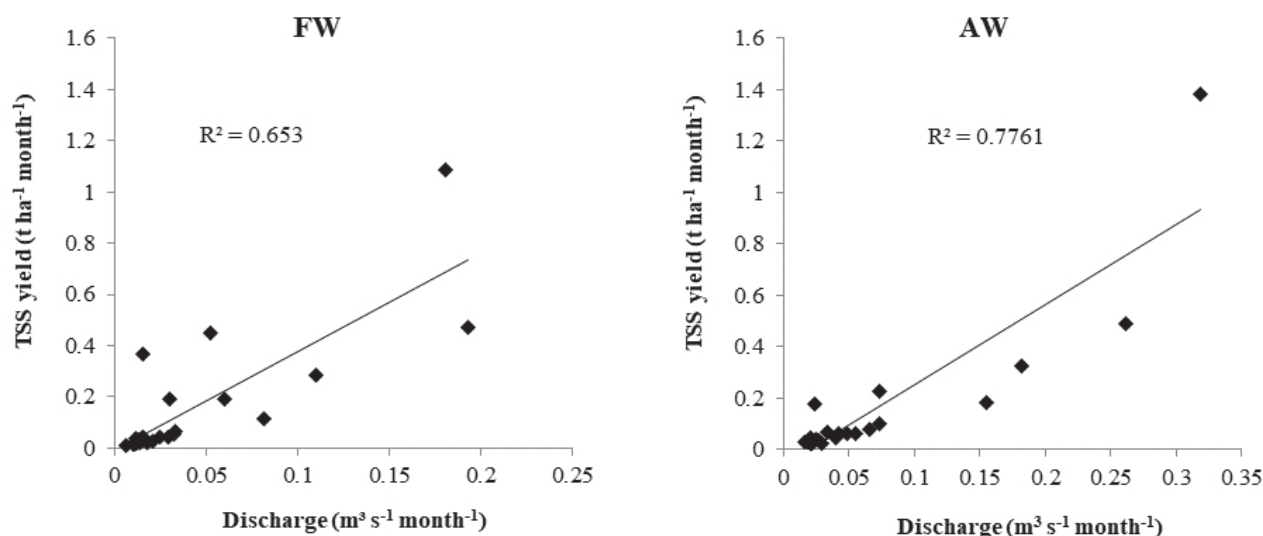


Figure 8. Relationship between average monthly discharge and TSS yields of the watersheds

Slika 8. Odnos između prosječnog mjesečnog otjecanja i produkcije TSS u slivovima

When all the TSS concentrations were examined during the study, it was determined that a higher amount of TSS was transported from the AW than from the FW (Fig. 9). However, after the extreme rainfall event (28.6 mm h⁻¹) in June 2014, the TSS concentrations measured in the FW and AW were 20.1 g L⁻¹ and 10.2 g L⁻¹, respectively. Therefore, 5350.2 ton of TSS were transported from the FW and 2969.3 ton from the AW with the streamflow occurring in this month. A similar situation was observed with the TSS measurements after rainfall events in May 2014 (20.4 mm

h⁻¹) and September 2015 (16.6 mm h⁻¹). In May 2014, 64.4 ton of TSS were transported from the FW and 43.6 ton from the AW, while in September 2015, 122.2 ton of TSS were transported from the FW and 125.6 ton from the AW.

In 2015, more sediment was carried away in the winter, whereas in 2014, more was carried away in the summer. This is an indication that high amounts of sediment can come from the FW even in the vegetation period or when there are dry soil conditions. There was heavy snowfall in November and December 2014. In February 2015, the amo-

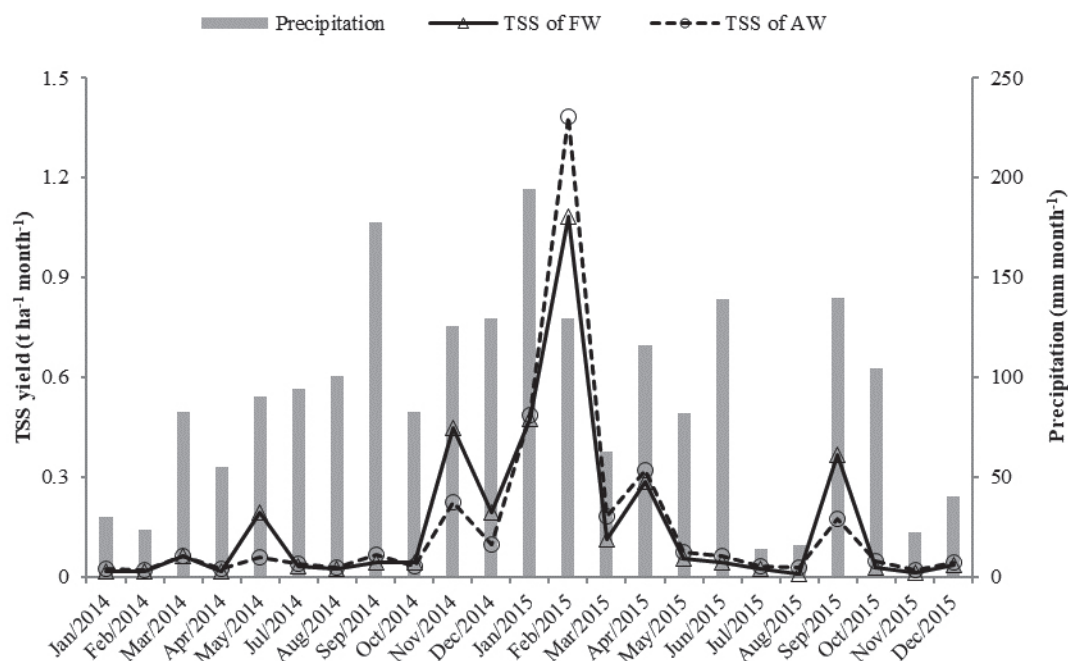


Figure 9. Monthly total precipitation and TSS yields of the watersheds

Slika 9. Ukupna mjesečna količina oborina i produkcija TSS u slivovima

unt of TSS transported from the watersheds was high because of sudden snow melts rather than from rainfall intensity.

In the two years, a total of 6511.7 ton of TSS were transported from the FW and 5503.8 ton from the AW. However there is no significant difference between watersheds for two years in terms of monthly TSS yields ($P > 0.05$). Excluding the exceptionally high TSS yield in June 2014 when extreme rainfall occurred, the 2-year TSS yield was 1161.5 ton and 2534.5 ton for the FW and AW. The amounts in this month constituted 82% and 54% of the sediment transported from the FW and AW in the two years. Similarly, Nearing et al. (2007) determined that one of seven watersheds produced 60% of the 11-year total sediment during two storm events and that this was due to the difference in watershed geomorphology and vegetation cover. Although the unit surface water yield of the FW was higher than the AW, the presence of high amounts of sediment from the FW in only a small number of months shows that forests play an important role in reducing sediment. Therefore, it can be concluded in this study that, aside from extreme precipitation events, there was a positive relationship between the ratio of agricultural land in the watershed and the TSS yield and a negative relationship with the ratio of forested land. This finding was consistent with those of Ahearn et al. (2005), Yan et al. (2013) and Kibena et al. (2014).

Rainfall intensity was also effective in producing high TSS for several months in the FW. Indeed, Nu-Fang et al. (2011) found a significant correlation between sediment transport and total rainfall, peak flow, total water yield, and maximum 30-min precipitation intensity and stated that peak discharge and duration of rainfall were the most important factors controlling suspended sediment transport. Similarly, Zhang et al. (2010) found a positive correlation between precipitation and surface runoff and sediment yield in four watersheds. In a study conducted in watersheds with different land uses, it was found that the difference between suspended sediment concentrations of agricultural and forested watersheds decreased at high streamflow and increased at low streamflow (Lenat and Crawford, 1994). This finding showed that the amount of TSS of FWs may be higher than in AWs due to the increase in the streamflow.

It is thought that there were two main reasons that more TSS was transported from the FW after an heavy rainfall events. The first reason was that the infiltration was reduced due to the high average slope and short main channel of the FW compared to AW. Thus, in heavy rainfall events, the speed and amount of surface runoff increased in a short time and caused stream bank and bottom erosion. Ebabu et al. (2018), in a similar study carried out in the

paired watersheds, found that the unit surface sediment yield of the steep sloped watershed was greater. The second reason was the collapse of the suspended sediment in the stream bed due to be wide of the main channel in the outlet section of the AW and its very low slope. The third reason was that the speed and amount of the surface flow was decreased due to its storage in limestone fissures and fractures in the AW.

CONCLUSION ZAKLJUČAK

This study evaluated the effects of some watershed characteristics on water and total suspended sediment yields in two adjacent subwatersheds of the Big Melen watershed having the similar climate and soil characteristics. As a result, the unit surface water yield in the steep sloped forested watershed was found to be higher than in the hazelnut plantation dominated watershed, where limestone bedrock occupied a large area. This result showed that the effect on reducing surface runoff in steep sloped forested watersheds was low and therefore, water yields may be higher than in hazelnut plantation dominated watersheds. After heavy rainfall events, a greater amount of suspended sediment was transported from the forested watershed. The forests have a more pronounced effect on reducing sediment transport during low rainfall and in periods of no rainfall. This finding indicated that the positive or negative effect on sediment transport in the forested watershed depended on topography and rainfall intensity. The results of the study showed that the effects of various factors such as slope, rainfall intensity, geological structure, drainage density and frequency of streams may be more dominant on the water and sediment yield of the watersheds than the effect of land use.

This study revealed that when investigating the effect of different land uses on water and sediment yields in paired watersheds, for a better understanding of the effects, the watershed characteristics should be similar. Due to the difficulty of finding paired watersheds and the expense of monitoring streamflows, long-term studies that provide more reliable results at lower cost can be carried out on single watersheds. Moreover, the factors affecting hydrological processes in single watersheds can remain constant over a long time period.

ACKNOWLEDGEMENTS ZAHVALA

This study was funded by Duzce University Scientific Research Projects (No: 2013.02.02.186) and was based on the PhD dissertation of the first author under the supervision of the second author.

REFERENCES

LITERATURA

- Ahearn, D.S., Sheibley, R.W., Dahlgren, R.A., Anderson, M., Johnson, J., Tate, K.W., 2005: Land use and land cover influence on water quality in the last free-flowing river draining the western Sierra Nevada, California, *J. Hydrol.*, 313:234–247.
- Akiner, M.E., Akkoyunlu, A., 2012: Modeling and forecasting river flow rate from the Melen Watershed, Turkey, *J. Hydrol.*, 456–457:121–129.
- Bosch, J.M., Hewlett, J.D., 1982: A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration, *J. Hydrol.*, 55:3–23.
- Brown, A.E., Zhang, L., McMahon, T.A., Western, A.W., Vertessy, R.A., 2005: A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation, *J. Hydrol.*, 310:28–61.
- Bywater-Reyes, S., Bladon, K.D., Segura, C., 2018: Relative Influence of Landscape Variables and Discharge on Suspended Sediment Yields in Temperate Mountain Catchments, *Water Resour. Res.*, 54:5126–5142.
- Can, T., Xiaoling, C., Jianzhong, L., Gassman, P., Sabine, S., José-Miguel, S.P., 2015: Using SWAT model to assess impacts of different land use scenarios on water budget of Fuhe River, China, *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, 8:1–15.
- Chen, X., Cheng, Q., Chen, Y.D., Smettem, K., Xu, C.Y., 2010: Simulating the integrated effects of topography and soil properties on runoff generation in hilly forested catchments, South China, *Hydrol. Process.*, 24:714–725.
- Chow, L., Xing, Z., Benoy, G., Rees, H.W., Meng, F., Jiang, Y., Daigle, J.L., 2011: Hydrology and water quality across gradients of agricultural intensity in the Little River watershed area, New Brunswick, Canada, *J. Soil Water Conserv.*, 66:71–84.
- Coulter, C.B., Kolka, R.K., Thompson, J. a, 2004: Water quality in agricultural, urban, and mixed land use watersheds, *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 40:1593–1601.
- Cui, X., Liu, S., Wei, X., 2012: Impacts of forest changes on hydrology: A case study of large watersheds in the upper reaches of Minjiang River watershed in China, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16:4279–4290.
- Dias, L.C.P., Macedo, M.N., Costa, M.H., Coe, M.T., Neill, C., 2015: Effects of land cover change on evapotranspiration and streamflow of small catchments in the Upper Xingu River Basin, Central Brazil, *J. Hydrol. Reg. Stud.*, 4:108–122.
- Duan, L., Cai, T., 2018: Quantifying impacts of forest recovery on water yield in two large watersheds in the cold region of northeast China, *Forests*, 9(7):392.
- Durán Zuazo, V.H., Francia Martínez, J.R., García Tejero, I., Rodríguez Pleguezuelo, C.R., Raya, A.M., Cuadros Tavira, S., 2012: Runoff and sediment yield from a small watershed in southeastern Spain (Lanjarón): implications for water quality, *Hydrol. Sci. J.*, 57:1610–1625.
- Ebabu, K., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Adgo, E., Meshesha, D.T., Aklog, D., Masunaga, T., Tsubo, M., Sultan, D., Fenta, A.A., Yibeltal, M., 2018: Analyzing the variability of sediment yield: A case study from paired watersheds in the Upper Blue Nile basin, Ethiopia, *Geomorphology*, 303:446–455.
- Erdoğan, B.U., Gökbülak, F., Serengil, Y., Yurtseven, İ., Özçelik, M.S., 2018: Changes in selected physical water quality characteristics after thinning in a forested watershed, *Catena*, 166:220–228.
- Ganatsios, H.P., Tsioras, P.A., Pavlidis, T., 2010: Water yield changes as a result of silvicultural treatments in an oak ecosystem, *For. Ecol. Manage.*, 260:1367–1374.
- GDMRE (General Directorate of Mineral Research and Exploration), 2002: 1/25000 scale geological maps, Ankara, Turkey.
- Gökbülak, F., Serengil, Y., Özhan, S., Özyuvacı, N., Balci, A.N., 2008: Relationship between streamflow and nutrient and sediment losses from an oak-beech forest watershed during an 18-year long monitoring study in Turkey, *Eur. J. For. Res.*, 127:203–212.
- He, Z., Zhao, W., Liu, H., Tang, Z., 2012: Effect of forest on annual water yield in the mountains of an arid inland river basin: A case study in the Pailugou catchment on northwestern China's Qilian Mountains, *Hydrol. Process.*, 26:613–621.
- Jahn, R., Blume, H.P., Asio, V.B., Spaargaren, O., Schad, P., 2006: Guidelines for Soil Description, 4th ed., FAO, Rome.
- Karagül, R., Çitgez, T., 2019: Estimation of peak runoff and frequency in an ungauged stream of a forested watershed for flood hazard mapping, *J. For. Res.*, 30:555–564.
- Karakaya, N., Evrendilek, F., 2010: Water quality time series for Big Melen stream (Turkey): Its decomposition analysis and comparison to upstream, *Environ. Monit. Assess.*, 165:125–136.
- Karlsen, R.H., Grabs, T., Bishop, K., Buffam, I., Laudon, H., Seibert, J., 2016: Landscape controls on spatiotemporal discharge variability in a boreal catchment, *Water Resour. Res.*, 52:6541–6556.
- Kibena, J., Nhapi, I., Gumindoga, W., 2014: Assessing the relationship between water quality parameters and changes in land use patterns in the Upper Manyame River, Zimbabwe, *Phys. Chem. Earth*, 67–69:153–163.
- Kirpich, Z.P., 1940: Time of concentration in small agricultural watersheds, *J. Civ. Eng.*, 10(6):362.
- Lana-Renault, N., Latron, J., Karssenbergh, D., Serrano-Muela, P., Regüés, D., Bierkens, M.F.P., 2011: Differences in stream flow in relation to changes in land cover: A comparative study in two sub-Mediterranean mountain catchments, *J. Hydrol.*, 411:366–378.
- Lenat, D.R., Crawford, J.K., 1994: Effects of land use on water quality and aquatic biota of three North Carolina Piedmont streams, *Hydrobiologia*, 294:185–199.
- Li, Q., Wei, X., Yang, X., Giles-Hansen, K., Zhang, M., Liu, W., 2018: Topography significantly influencing low flows in snow-dominated watersheds, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22:1947–1956.
- Li, Q., Wei, X., Zhang, M., Liu, W., Fan, H., Zhou, G., Giles-Hansen, K., Liu, S., Wang, Y., 2017: Forest cover change and water yield in large forested watersheds: A global synthetic assessment, *Ecohydrology*, 10:1–7.
- Liu, W., Wei, X., Li, Q., Fan, H., Duan, H., Wu, J., Giles-Hansen, K., Zhang, H., 2016: Hydrological recovery in two large forested watersheds of southeastern China: The importance of watershed properties in determining hydrological responses to reforestation, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 20:4747–4756.
- Liu, Y., Leng, X., Deng, Z., Wang, L., Zhang, L., Liu, S., An, S., 2011: Effects of watershed vegetation on tributary water yields during the wet season in the Heishui Valley, China, *Water Resour. Manag.*, 25:1449–1464.

- Nadal-Romero, E., Cammeraat, E., Serrano-Muela, M.P., Lana-Renault, N., Regüés, D., 2016: Hydrological response of an afforested catchment in a Mediterranean humid mountain area: A comparative study with a natural forest, *Hydrol. Process.*, 30:2717–2733.
- Nearing, M.A., Nichols, M.H., Stone, J.J., Renard, K.G., Simanton, J.R., 2007: Sediment yields from unit-source semiarid watersheds at Walnut Gulch, *Water Resour. Res.*, 43:1–10.
- Nippgen, F., McGlynn, B.L., Marshall, L.A., Emanuel, R.E., 2011: Landscape structure and climate influences on hydrologic response, *Water Resour. Res.*, 47:1–17.
- Nu-Fang, F., Zhi-Hua, S., Lu, L., Cheng, J., 2011: Rainfall, runoff, and suspended sediment delivery relationships in a small agricultural watershed of the Three Gorges area, China, *Geomorphology*, 135:158–166.
- Özhan, S., 2004: Havza Amenajmanı, İ.Ü. Rektörlüğü Yayın No:4510, Orman Fakültesi Yayın No:481, 384 p., İstanbul.
- Peng, T., Wang, S. jie, 2012: Effects of land use, land cover and rainfall regimes on the surface runoff and soil loss on karst slopes in southwest China, *Catena*, 90:53–62.
- Price, K., 2011: Effects of watershed topography, soils, land use, and climate on baseflow hydrology in humid regions: A review, *Prog. Phys. Geogr.*, 35:465–492.
- Rientjes, T.H.M., Haile, A.T., Mannaerts, C.M.M., Kebede, E., Habib, E., 2010: Changes in land cover and stream flows in Gilgel Abay catchment, Upper Blue Nile basin – Ethiopia, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 7:9567–9598.
- Sadeghi, S.H.R., Mizuyama, T., Miyata, S., Gomi, T., Kosugi, K., Fukushima, T., Mizugaki, S., Onda, Y., 2008: Determinant factors of sediment graphs and rating loops in a reforested watershed, *J. Hydrol.*, 356:271–282.
- Serengil, Y., Gökbülak, F., Özhan, S., Hizal, A., Şengönül, K., Nihat Balci, A., Özyuvaci, N., 2007: Hydrological impacts of a slight thinning treatment in a deciduous forest ecosystem in Turkey, *J. Hydrol.*, 333:569–577.
- Shi, Chen, Yuan, S., Shi, Changqing, Zhao, T., 2018: Estimating the effect of precipitation and vegetation on water yield in Northern China, *Polish J. Environ. Stud.*, 27:305–312.
- Siriwardena, L., Finlayson, B.L., McMahon, T.A., 2006: The impact of land use change on catchment hydrology in large catchments: The Comet River, Central Queensland, Australia, *J. Hydrol.*, 326:199–214.
- Sriwongsitanon, N., Taesombat, W., 2011: Effects of land cover on runoff coefficient, *J. Hydrol.*, 410:226–238.
- Swank, W.T., Vose, J.M., Elliott, K.J., 2001: Long-term hydrologic and water quality responses following commercial clearcutting of mixed hardwoods on a southern Appalachian catchment, *For. Ecol. Manage.*, 143:163–178.
- Wang, C., Shang, S., Jia, D., Han, Y., Sauvage, S., Sánchez-Pérez, J.M., Kuramochi, K., Hatano, R., 2018: Integrated effects of land use and topography on streamflow response to precipitation in an agriculture-forest dominated northern watershed, *Water*, 10:633.
- Wang, G., Yang, H., Wang, L., Xu, Z., Xue, B., 2014: Using the SWAT model to assess impacts of land use changes on runoff generation in headwaters, *Hydrol. Process.*, 28: 1032–1042.
- Warburton, M.L., Schulze, R.E., Jewitt, G.P.W., 2012: Hydrological impacts of land use change in three diverse South African catchments, *J. Hydrol.*, 414–415:118–135.
- Wei, X., Zhang, M., 2010: Quantifying streamflow change caused by forest disturbance at a large spatial scale: A single watershed study, *Water Resour. Res.*, 46:1–15.
- Yan, B., Fang, N.F., Zhang, P.C., Shi, Z.H., 2013: Impacts of land use change on watershed streamflow and sediment yield: An assessment using hydrologic modelling and partial least squares regression, *J. Hydrol.*, 484:26–37.
- Yilmaz, F., 2014: Thinning effects on the rainfall disposition and some water quality parameters in oriental beech (*Fagus orientalis lipsky*) stands, Dissertation (PhD thesis), Faculty of Forestry, Duzce, Turkey, 147 p. [Turkish]
- Yu, P., Wang, Y., Wu, X., Dong, X., Xiong, W., Bu, G., Wang, S., Wang, J., Liu, X., Xu, L., 2010: Water yield reduction due to forestation in arid mountainous regions, northwest China, *Int. J. Sediment Res.*, 25:423–430.
- Yu, Z., Sun, G., Cai, T., Hallema, D.W., Duan, L., 2019: Water yield responses to gradual changes in forest structure and species composition in a subboreal watershed in Northeastern China, *Forests*, 10:1–17.
- Zengin, H., Özcan, M., Degermenci, A.S., Citgez, T., 2017: Effects of some watershed characteristics on water yield in the West Black Sea Region of northern Turkey, *Bosque (Valdivia)*, 38:479–486.
- Zhang, M., Liu, N., Harper, R., Li, Q., Liu, K., Wei, X., Ning, D., Hou, Y., Liu, S., 2017: A global review on hydrological responses to forest change across multiple spatial scales: Importance of scale, climate, forest type and hydrological regime, *J. Hydrol.*, 546:44–59.
- Zhang, M., Wei, X., 2014: Contrasted hydrological responses to forest harvesting in two large neighbouring watersheds in snow hydrology dominant environment: Implications for forest management and future forest hydrology studies, *Hydrol. Process.*, 28:6183–6195.
- Zhang, X., Cao, W., Guo, Q., Wu, S., 2010: Effects of landuse change on surface runoff and sediment yield at different watershed scales on the Loess Plateau, *Int. J. Sediment Res.*, 25:283–293.
- Zhang, Z., Chen, X., Huang, Y., Zhang, Y., 2014: Effect of catchment properties on runoff coefficient in a karst area of southwest China, *Hydrol. Process.*, 28:3691–3702.

SAŽETAK

U ovom smo radu istraživali utjecaj različitih značajki sliva na otjecanja vode i na produkciju suspendiranog erozijskog nanosa u slivovima obilježenih dominantno šumarstvom i poljoprivredom (lješnjak), te smo na taj način željeli doprinijeti održivom upravljanju vodnim resursima. Istraživanje je provedeno u podslivovima sliva rijeke Big Melen u zapadnoj crnomorskoj regiji Turske obilježenih dominantno šumarstvom i poljoprivredom. Istraživani slivovi imaju slične klimatske karakteristike. Tlo sliva uglavnom je plitko i ima visoki udio gline. Tipovi uporabe zemljišta u poljoprivrednom slivu

sastoje se od 27% šume, 70 % poljoprivrednog zemljišta, i 3% naseljenih mjesta, dok se šumski sliv sastoji od 64 % šume i 36 % poljoprivrednog zemljišta. Topografija šumskog sliva je strma, a njezina geološka struktura sastoji se od pješčenjaka-muljnjaka i sedimentnih stijena. Područje poljoprivrednog sliva je veće i za razliku od šumskog sliva, u njegovoj strukturi nalazimo argilitni vapnenac. Oborine, otjecanje vode i produkcija suspendiranog erozivnog nanosa u slivovima mjereni su od siječnja 2014. do prosinca 2015. godine. Tijekom dvije godine ukupna količina oborina u području istraživanja iznosila je 2217,3 mm. Za određivanje otjecanja vode u slivovima kreirali smo regresijske jednadžbe koje pokazuju odnos između izmjerenog istjecanja i razina vode. Vrijednost R^2 jednadžbe za oba sliva bila je iznad 0,98. Dvogodišnji izračunati prosječni koeficijent otjecanja u šumskim i poljoprivrednim slivovima bio je 0,39, odnosno 0,30. Otjecanje vode u šumskom slivu iznosilo je 867,6 mm, dok je u poljoprivrednom slivu iznosilo 654,9 mm. Glavni razlog za visoku stopu otjecanja vode po jedinici površine u šumskom slivu kako u vlažnim tako i u suhim razdobljima, u usporedbi s poljoprivrednim slivom, leži u činjenici da su vrijednosti za nagib sliva, nagib glavnog kanala, gustoću mreže vodotokova te frekvenciju vodotoka bile visoke. Tijekom dvije godine, produkcija suspendiranog erozivnog nanosa transportiranog iz šumskog sliva iznosila je $19,51 \text{ t ha}^{-1}$, a iz poljoprivrednog sliva $7,70 \text{ t ha}^{-1}$. Međutim, s izuzetkom visokih vrijednosti izmjerenih nakon ekstremnih oborinskih događaja, produkcija suspendiranog erozijskog nanosa po jedinici površine u poljoprivrednom slivu pokazala se višom od one u šumskom slivu. Ovi rezultati pokazuju da značajke sliva, kao što se nagib, geološka struktura i intenzitet oborina, mogu imati veći utjecaj na vodu i ukupnu produkciju suspendiranog erozijskog nanosa slivova nego što to ima način uporabe zemljišta. Ovo je istraživanje pokazalo da bi za bolje razumijevanje utjecaja različitih načina uporabe zemljišta na otjecanje vode i produkciju nanosa u uparenim slivovima značajke slivova trebale biti slične.

KLJUČNE RIJEČI: sliv rijeke Big Melen, korištenje zemljišta, produkcija suspendiranog nanosa, značajke sliva, otjecanja vode



HRVATSKA KOMORA
INŽENJERA ŠUMARSTVA
I DRVNE TEHNOLOGIJE

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

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

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

Članovi Komore:

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

Stručni poslovi (Zakon o HKISDT, članak 1):

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

Javne ovlasti Komore:

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

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

Ostali poslovi koje obavlja Komora:

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

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

- Razred inženjera šumarstva,
- Razred inženjera drvne tehnologije.

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

PRVI NALAZ AZIJSKE PAMUČNE ŠTITASTE UŠI *TAKAHASHIA JAPONICA* U HRVATSKOJ

THE FIRST RECORD OF THE ASIATIC STRING COTTONY SCALE *TAKAHASHIA JAPONICA* IN CROATIA

Nediljko LANDEKA¹, Mirela UZELAC², Danijela POLJUHA², Barbara SLADONJA²

SAŽETAK

Azijska pamučna štitasta uš *Takahashia japonica* Cockerell (Hemiptera, Coccoomorpha, Coccidae), vrsta je porijeklom iz Japana. U Europi je prvi put pronađena 2017. godine u Italiji te 2018. godine u Velikoj Britaniji. U ovom radu dajemo pregled prvog nalaza vrste *T. japonica* u Hrvatskoj. Prvi nalaz kukca *T. japonica* uočen je 2019. godine u Puli (Istarska županija, Hrvatska), a vrsta je determinirana u proljeće 2020 godine. Kako bi što učinkovitiše prikupili terenske podatke, pokrenuli smo kampanju po načelu „građani znanstvenici“ pod naslovom: “Traži se neobičan kukac - *Takahashia japonica*”. Poziv za dostavu dojava s lokacijama poslan je svim komunalnim gradskim poduzećima u Istri, javnim ustanovama zaštićenih područja, nevladinim udrugama te je podijeljen u lokalnim novinama i radio postajama. Specifična morfologija ooteka omogućila je lako prepoznavanje ove vrste i osigurala pouzdanost dojava građana. Tijekom kampanje prikupljeno je ukupno sedam dojava u širem središtu grada Pule. Najčešća biljka domaćin bila je *Acer* sp. i *Morus alba* L. od kojih su neka stabla pretrpjela značajnu defolijaciju te propadanje krošnje. S obzirom na ograničenu zarazu i relativno mali broj zaraženih stabala opravdano je pokušati provesti potpuno uklanjanje ove vrste. Postupci mjera ranog otkrivanja i brzog iskorjenjivanja invazivnih štetočina u skladu su s Pravilnikom br. 1143/2014 Europskog parlamenta i Vijeća te Europske i Mediteranske Organizacije za Zaštitu Bilja (EPPO). Aktivnosti iskorjenjivanja dogovorene su s gradskim komunalnim poduzećem Herculanea d.o.o. koji je odgovoran za hortikulturu i zaštitu biljaka u gradu Puli.

KLJUČNE RIJEČI: prvi nalaz, azijska pamučna štitasta uš (*Takahashia japonica*), biljni nametnik, invazivna vrsta, rano otkrivanje

UVOD INTRODUCTION

Štitaste uši su mali fitofagni kukci rasprostranjeni na svim kontinentima osim Antarktike, invazivni su i važni biljni nametnici. Do sada je opisano 8194 vrsta štitastih uši iz 50 porodica (Garcia Morales i sur. 2015). Strane štitaste uši čine 30% ukupne faune štitastih uši u entomofauni u bliskim državama, primjerice u Italiji (Mazzeo i sur. 2014; Pellizzari i Porcelli, 2014). U Hrvatskoj je zabilježeno čak

56 stranih vrsta štitastih uši koje spadaju u osam različitih porodica (Masten Milek i sur. 2016).

Prirodno stanište azijske pamučne štitaste uši *Takahashia japonica* su zemlje Dalekog istoka: Kina, Indija, Japan i Južna Koreja (Xie i sur. 2006; Garcia Morales i sur. 2015). Do sada su njezini poznati domaćini stabla pripadnika rodova: *Acer*, *Albizia*, *Alnus*, *Celtis*, *Citrus*, *Cornus*, *Cydonia*, *Diospyros*, *Juglans*, *Magnolia*, *Morus*, *Parthenocissus*, *Prunus*, *Pyrus*, *Robinia*, *Sophora* i *Salix*. U Europi su do danas

¹ dr. sc. Nediljko Landeka, Zavod za javno zdravstvo Istarske županije, Služba za epidemiologiju, Nazorova 23, p.p.192, 52 100 Pula, Hrvatska, e-mail: ddd@zzjz.hr

² mag. oecol. Mirela Uzelac, dr. sc. Danijela Poljuha, dr. sc. Barbara Sladonja, Institut za poljoprivredu i turizam, Karla Huguesa 8, 52440 Poreč, Hrvatska, e-mail: mirela@iptpo.hr, danijela@iptpo.hr, barbara@iptpo.hr



Slika 1. Ooteke azijske pamučne štitaste uši *Takahashia japonica* na stablu javora (N. Landeka)

Figure 1. Eggsacs of the string cottony scale *Takahashia japonica* on a maple tree (N. Landeka)

objavljena dva nalaza, jedan u Italiji 2017. godine (Limonta i Pellizzari, 2018) te jedan u Velikoj Britaniji 2018. godine (Tuffen i sur. 2019). Ova vrsta navedena je na listi Europske i mediteranske organizacije za zaštitu bilja važnih stranih biljnih nametnika (EPPO 2020).

Jedinke odraslih ženki su svijetlo smeđe boje, duljine tijela do 7 mm te širine do 4 mm. Zrele ženke su tamno smeđe, s dubokim brazdama na leđnom dijelu. Svaka ženka proizvodi nitaste bijele voštane ooteke, duljine do 5 cm, koje često oblikuju prstene smještene ispod kukca (Slika 1 i 2). Ooteke su čvrste građe te ostaju pričvršćene na grane i nakon što se jajašca izlegnu. Biologija vrste nije u potpunosti poznata, no zna se da u našim klimatskim uvjetima ona ima jednu generaciju godišnje (Defra Plant Pest Factsheet 2019). Izlijeganje jajašaca se događa se tijekom mjeseca lipnja kada nimfe prelaze na naličje lisne plojke. Krajem ljeta nimfe se vraćaju na grane domaćina gdje prezimljuju u obliku kukuljice. Nimfe se lokalno šire vjetrom. Širenje na veće udaljenosti vjerojatno se događa putem prijenosa zaraženog biljnog materijala.

U ovom radu predstavljamo prve nalaze vrste *T. japonica* u Hrvatskoj te opisujemo postupak ranog otkrivanja i brzog iskorjenjivanja invazivne vrste preporučene Uredbom br. 1143/2014 Europskog parlamenta i Vijeća te od strane Europske i mediteranske organizacije za zaštitu bilja (EPPO – European and Mediterranean Plant Protection Organization).

MATERIJALI I METODE

MATERIALS AND METHODS

U proljeće 2019. godine, u Zavod za javno zdravstvo Istarske županije pristigla je prva dojava građana o neobičnim tvorbama na stablu u Puli, no vrsta tada nije bila prepoznata. Slične tvorbe ponovo su uočene u svibnju 2020. na



Slika 2. Primjer visoke infestacije na stablu javora (N. Landeka)

Figure 2. High infestation example on a maple tree (N. Landeka)



CENTAR ZA INVAZIVNE VRSTE

TRAŽI SE NEOBIČAN KUKAC!



TAKAHASHIA JAPONICA

Obično se skriva u krošnjama javora, magnolije, graba ili murve.

Jedini put viđen je u Puli. Prepoznatljiv po bijelim spremnicima za jaja.
Traženi sumnjivac nije opasan za čovjeka
ali znamo da ovaj stranac nije prijavio boravište!

Javite nam na:

 mirela@iptpo.hr
 Centar za invazivne vrste
 +385 52 408 328

Slika 3. Poziv građanima za dojavu lokacija *T. japonica*

Figure 3. A citizen science campaign - call for citizens

stablu albicije (*Albizia julibrissin* Durazz) u središtu Pule. Korištenjem stručne literature, vrstu smo determinirali kao stranu vrstu azijske pamučne štitaste uši *Takahashia japonica*. Determinaciju vrste potvrdio je dr.sc. Nicola Bressi iz Prirodoslovnog muzeja u Trstu (Italija). Kako bi na brz i učinkovit način prikupili podatke o rasprostranjenosti ove vrste u Istarskoj županiji, pokrenuli smo kampanju po načelu „građani znanstvenici“. Kampanja pod nazivom “Traži se neobičan kukac – *Takahashia japonica*” sastojala se od fotografije ooteka ove vrste te kratkog popratnog opisnog teksta (Slika 3). Poziv za dostavu dojava s lokacijama poslan je svim komunalnim gradskim poduzećima u Istri (u Odsjek za hortikulturu), Nacionalnom Parku Brijuni i Javnoj ustanovi za upravljanje zaštićenim dijelovima prirode Istarske županije Natura Histrica te udruzi Zelena Istra. S ciljem uključivanja građana Istarske županije u kartiranje, poziv je objavljen u lokalnim tiskovinama, na internetskim portalima te društvenim mrežama Facebook i Instagram. Specifičnost izgleda ooteka omogućila je građanima lako prepoznavanje ove vrste te osigurala pouzdanost njihovih dojava. Svaku dojavu nove lokacije provjerili smo determinacijom vrste na terenu. Uzorak jedinki *T. japonica* depozitiran je u Prirodoslovnog muzeju Rijeka u entomološkoj zbirci pod inventurnim brojem ENT15000.

REZULTATI I DISKUSIJA

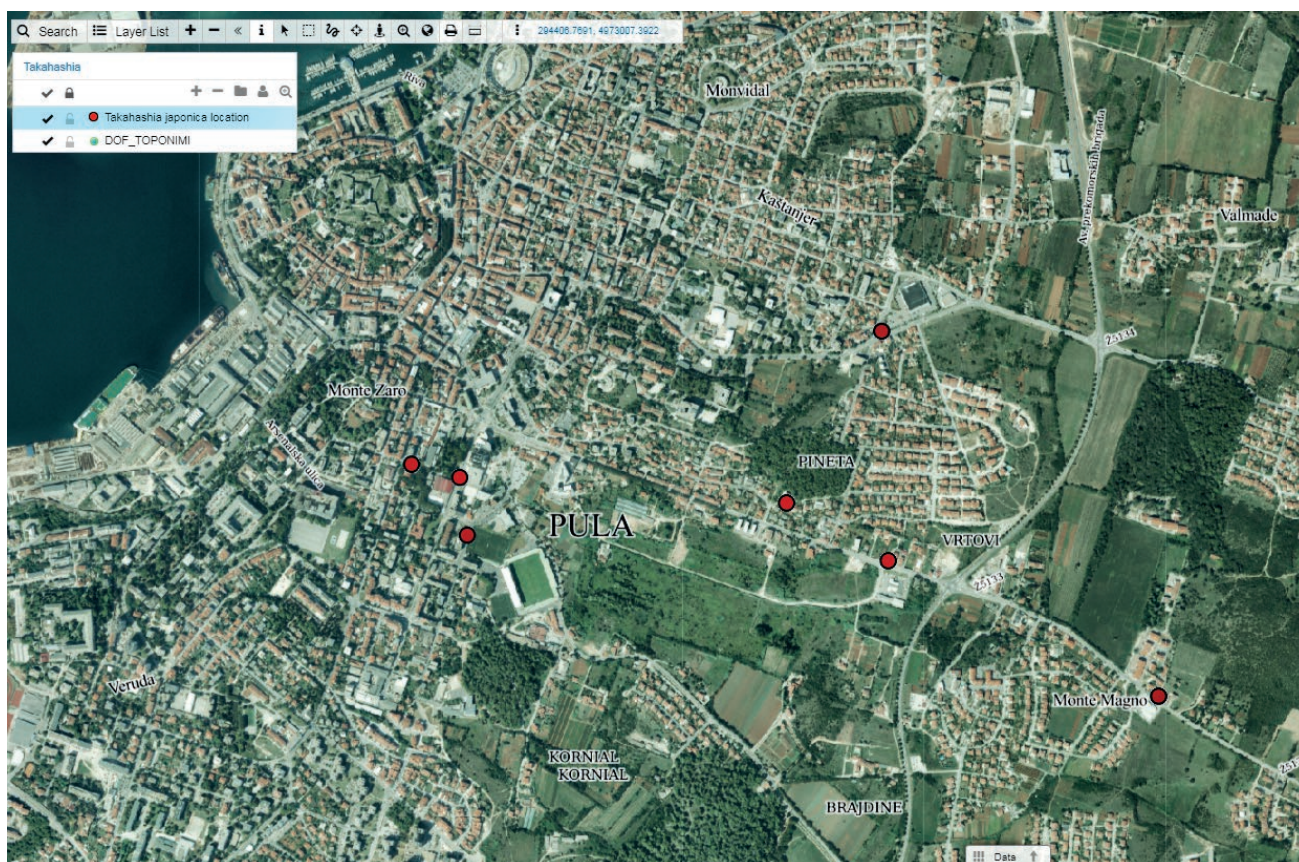
RESULTS AND DISCUSSION

Tijekom dvotjedne kampanje zaprimili smo ukupno dvanaest dojava građana od čega je sedam dojava u užem središtu Pule potvrđeno kao lokacija vrste *T. japonica* (Tablica 1.). S obzirom da je udaljenost između potvrđenih dojava tek nekoliko stotina metara možemo zaključiti da je areal vrste zasad ograničen (Slika 4.). Prvi determinirani nalaz

Tablica 1. Lokaliteti prvih nalaza azijske pamučne štitaste uši *T. japonica* u Hrvatskoj

Table 1. Locations of the first records of Asian string cottony scale *T. japonica* in Croatia

Datum	Ulica / Grad	GPS koordinate	Biljka domaćin
18. 5. 2020.	Nazorova ulica 14, Pula	N 44.862536 E 13.849222	Javor (<i>Acer</i> sp.)
28. 5. 2020.	Ulica Kašića Miošića 4, Pula	N 44.864081 E 13.848633	Murva (<i>Morus alba</i> L.)
28. 5. 2020.	Mutilska ulica 69, Pula	N 44.863169 E 13.858957	Albicija (<i>Albizia julibrissin</i> Durazz)
28. 5. 2020.	Valvazorova ulica 15, Pula	N 44.865168 E 13.855272	Javor (<i>Acer</i> sp.)
28. 5. 2020.	Santoriova ulica 22, Pula	N 44.866918 E 13.856612	Javor (<i>Acer</i> sp.)
2. 6. 2020.	Medulinska cesta 183, Pula	N 44.859541 E 13.871450	Murva (<i>Morus alba</i> L.)



Slika 4. Karta rasprostranjenosti vrste *T. japonica* u užem središtu Pule
Figure 4. Distribution map of *T. japonica* species in the center of Pula

bio je 18. svibnja 2020. godine kad su ootke zamijećene na stablu javora, u ulici Navorova 14 u Puli. Sve dojave građana prosljeđene su Ministarstvu zaštite okoliša i energetike putem online obrazaca na Portalu o invazivnim vrstama u Republici Hrvatskoj.

Put unosa *T. japonica* u Hrvatsku nije poznat, no najvjerojatniji način širenja je putem transporta hortikulturnog materijala ili na neki drugi pasivni način.

Negativni učinak vrste *T. japonica* – Negative impact of the species *T. japonica*

Ovaj strani nametnik može se smatrati invazivnim, jer zadovoljava uvjete iz definicije biljnih štetnika (Matošević i Pernek 2011). Invazijom u ekosustave, strane štitaste uši utječu na bioraznolikost, uzrokuju štete na samoniklom i uzgojenom bilju te značajne ekonomske gubitke (Masten Milek i sur. 2016).

Ovim istraživanjem uočen je negativan utjecaj *T. japonica* na biljne domaćine. Usporedbom istog stabla albicije (*A. julibrissin*) iz srpnja 2018. godine (Slika 5A.) te svibnja 2020. godine (Slika 5B.) zamijećena je značajna defolijacija i padanje stabla.



Slika 5. A) Kineska mimoza srpanj 2018. godine i B) isto stablo zaraženo azijskom pamučnom štitastom uši *Takahashia japonica* u svibnju 2020. (preuzeto: 2. 6. 2020.; Street view)

Figure 5. A) Chinese silk tree in July 2018 and B) the same tree infected by the Asian string cottony scale *Takahashia japonica* in May 2020 (retrieved: 2. 6. 2020.; Street view)

Upravljanje invazivnom vrstom *T. japonica* – Management of the invasive species *T. japonica*

Temeljni dokument za upravljanje invazivnim vrstama u Republici Hrvatskoj je Zakon o sprječavanju unošenja i širenja stranih te invazivnih stranih vrsta i upravljanju njima (NN 15/18). Ovim se Zakonom utvrđuje okvir za provedbu odredbi važećih EU dokumenata iz područja invazivnih vrsta kao što je Uredba (EU) br. 1143/2014. U članku 24. Uredbe o sprječavanju i upravljanju unošenja i širenja invazivnih stranih vrsta navedeno je da su nakon unošenja invazivne strane vrste, mjere ranog otkrivanja i brzog iskorjenjivanja od ključne važnosti za sprječavanje njezinog naseljavanja i širenja. Često je najučinkovitiji i troškovno najisplativiji odgovor iskorjenjivanje populacije u što kraćem roku, dok je broj jedinki još ograničen. S obzirom na ograničenu zarazu i relativno mali broj zaraženih stabala, opravdano je pokušati provesti potpuno uklanjanje vrste. S tim ciljem dogovorene su aktivnosti s gradskim komunalnim poduzećem Herculanea d.o.o. koje je nadležno za hortikulturu i zaštitu bilja na području grada Pule. Izdana je preporuka uklanjanja zaraženih grana, njihovo spaljivanje te tretiranje drveća insekticidom.

Potrebno je aktivno pratiti moguće širenje vrste i njezinu invazivnost te obratiti posebnu pozornost na odabir biljke domaćina. S obzirom da je vrsta izvan svog prirodnog areala moguće su promjene domaćina te promjene u obrascima ponašanja ove vrste. Ukoliko potpuno uklanjanje vrste ne bude učinkovito, u planu je nastavak laboratorijskih i terenskih istraživanja ove vrste s ciljem izrade procjene širenja areala.

ZAHVALA ACKNOWLEDGEMENTS

Zahvaljujemo uključenim ustanovama i udrugama na sudjelovanju u kampanji te svim zainteresiranim i motiviranim građanima koji su se odazvali na poziv za suradnju te dali svoj doprinos u determinaciji i izradi vrijedne i pouzdane baze podataka. Zahvaljujemo i prof. dr. Borisu Hrašovecu, dr. sc. Marinu Kirinčiću te mr. sc. Romanu Ozimec na svojem doprinosu.

LITERATURA REFERENCES

- EPPO 2020. EPPO Global Database (available online). Pristupano na <https://gd.eppo.int> (2.06.2020.)
- Defra. Plant Pest Factsheet. Cotton stringy scale insect *Takahashia japonica*, 2019, 3 pp. (available online). Pristupano na <https://planthealthportal.defra.gov.uk/assets/factsheets/Takahashia-japonica-Defra-PP-Factsheet-Mar-2019.pdf> (2.06.2020.)
- García Morales, M., B.D. Denno, D.R. Miller, G.L. Miller, Y. Ben-Dov, N.B. Hardy, 2016.: ScaleNet: a literature-based model

of scale insect biology and systematics. Database-Oxford Vol. 2016: 1.-5.

- Limonta, L., Pellizzari, G., 2018: First record of the string cottony scale *Takahashia japonica* in Europe and its establishment in Northern Italy. Bulletin of Insectology 71 (1): 159.-160.
- Masten Milek, T., Šimala, M., Pintar, M., 2016: The dynamics of introduction of alien scale insects (Hemiptera: Coccoidea) into Croatia. Bulletin OEPP/EPPO Bulletin 2016 46 (2): 298.-304.
- Mazzeo, G., Longo, S., Pellizzari, G., Porcelli, F., Suma, P., Russo A., 2014: Exotic scale insects (Coccoidea) on ornamental plants in Italy: a never ending story.- Acta Zoologica Bulgarica, Supplementum 6: 55-61.
- Pellizzari, G., Porcelli, F., 2014: Alien scale insects (Hemiptera Coccoidea) in European and Mediterranean countries: the fate of new and old introduction. Phytoparasitica. 42: 713-721.
- Tuffen, M., Salisbury, A., Malumphy, C., 2019: Cotton stringy scale insect, *Takahashia japonica* (Hemiptera: Coccidae), new to Britain. Br. J. Ent. Nat. Hist. 32: 1.-4.
- Uredba (EU) Europskog parlamenta i vijeća od 22. listopada 2014. o sprječavanju i upravljanju unošenja i širenja invazivnih stranih vrsta, br. 1143/2014
- Xie, Y. P., Xue, J. L., Zheng, L., 2006: Wax secretions of soft scale insects their ultrastructure & chemical composition.- China Forestry Publishing House, Beijing, China

SUMMARY

The Asiatic string cottony scale *Takahashia japonica* Cockerell (Hemiptera, Coccoidea, Coccidae) is a species native to Japan. The first record in Europe was observed in Italy in 2017 and again in UK in 2018. In this paper, we provide an overview of the first record of *T. japonica* in Croatia. First appearance of *T. japonica* was in 2019 in Pula (Istrian County, Croatia) but the species was determined in spring 2020. In order to collect the field data as efficiently as possible we launched a citizen scientist campaign under title: "A search for an insect – *Takahashia japonica*". The campaign was shared to city utility companies in Istria, public institutions of protected areas, NGOs, local newspapers and radio stations. The specific morphology of the eggsacs enabled easy recognition of this species and ensured the accuracy of citizens' reports. During the campaign we have collected in total seven reports in the city of Pula. The most common host plant of *T. japonica* was *Acer* sp. and *Morus alba* L. some of which have suffered significant defoliation and tree decay. Given the limited infestation and the relatively small number of infected trees, next step is to carry out a complete eradication of the species. The procedures of early detection measures and rapid eradication of invasive pest is in accordance to Regulation no. 1143/2014 of the European Parliament and the Council and by the European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO). In the end, eradication activities have been agreed with the city utility company Herculanea d.o.o. which is responsible for horticulture and plant protection in the city of Pula.

STATE BORDER FENCES AS A THREAT TO HABITAT CONNECTIVITY: A CASE STUDY FROM SOUTH-EASTERN EUROPE

OGRADNA NA DRŽAVNIM GRANICAMA KAO PRIJETNJA POVEZANOSTI STANIŠTA: STUDIJA SLUČAJA IZ JUGOISTOČNE EUROPE

Toni SAFNER¹, Ana GRACANIN², Ivan GLIGORA³, Boštjan POKORNY^{4*}, Katarina FLAJŠMAN⁵, Marco APOLLONIO⁶, Nikica ŠPREM⁷

SUMMARY

The conservation value of transboundary management of wildlife populations in Europe, that marked end of the 20th and the beginning of the 21st century, has come under huge pressure since 2015 especially in the South-eastern Europe due to border fences construction in response to large influxes of refugees/migrants. The primary aim of this study was to present data on the direct impacts of the long fence on wildlife (e.g. fence-related mortality) across the Hungary–Croatia border. We collected data on fence-related animal mortality along 136 km of the fence in the first 28 months after its construction. In total, 64 ungulates (38 red deer, 23 roe deer, and three wild boar) were found entangled in or deceased due to the razor wire fence. In addition, we present direct (photographic) evidence of newly recorded behaviour of red deer, as they gather in huge herds attempting to cross the border fence between Hungary and Croatia. Short term effect of the border fence is reflected in direct animal mortality, and as obstruction to the movement and behaviour of animals. In the case that current fences will remain or continue to expand along the northern boundary of South-eastern Europe, it is likely that fragmented wildlife populations in the region will suffer from negative effects of genetic subdivision such as loss of alleles and reduced heterozygosity that can cause important long-term damage to their vitality.

KEY WORDS: Border fence, Wild ungulate mortality, Habitat fragmentation, Red deer, Roe deer, Wild boar, South-eastern Europe

INTRODUCTION

UVOD

The end of the 20th and the beginning of the 21st century were, in terms of biodiversity conservation, marked by the incre-

ased awareness of the large scale at which ecological processes occur and the realization that achieving collective goals would require international cooperation (Fonseca et al., 2014; Linnell et al., 2016a). This awareness was implemented in legislation accepted by the European Union, such as the

¹ Assist. Prof. Toni Safner, Ph.D. University of Zagreb, Faculty of Agriculture, Department of Plant Breeding Genetics, Biometrics and Experimentation, Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb, Croatia

² Ana Gracanin. University of Wollongong, Centre for Sustainable Ecosystem Solutions, School of Biology, Northfields Ave. Wollongong, NSW 2522 Australia

³ Ivan Gligora. Ministry of Agriculture, Planinska 2a, 10000 Zagreb, Croatia

⁴ Prof. Boštjan Pokorny, Ph.D. Environmental Protection College, Trg mladosti 7, 3320 Velenje, Slovenia; Slovenian Forestry Institute, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, Slovenia; *corresponding author, e-mail: bostjan.pokorny@vsvo.si

⁵ Katarina Flajšman, Ph.D. Slovenian Forestry Institute, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, Slovenia

⁶ Prof. Marco Apollonio, Ph.D. University of Sassari, Department of Veterinary Medicine, Via Vienna 2, I-07100 Sassari, Italy

⁷ Assoc. Prof. Nikica Šprem, Ph.D. University of Zagreb, Faculty of Agriculture, Department of Fisheries, Apiculture, Wildlife Management and Special Zoology, Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb, Croatia

Birds and Habitats Directives and Convention on Biological Diversity (Fleurke and Trouwborst, 2014), which resulted in the designation of the European Natura 2000 network. This is comprised of a network of ecologically important sites selected to ensure the long-term survival of Europe's most valuable and threatened species and habitats. Results of these actions are notable, with evidences of recovery of both large carnivore and herbivore populations (Apollonio et al., 2010; Chapron et al., 2014; Linnell et al., 2016b).

The South-eastern Europe is part of the Balkan Peninsula in Mediterranean basin, linking Central Europe with Asia Minor. It is one of the three European glacial refugia, and is a part of one of the world's 36 biodiversity hotspots (Zachos and Habel, 2011; Noss et al., 2015), with an area-adjusted mammal species richness significantly higher than in the rest of Europe (Kryštufek, 2004). However, the conservation value of transboundary management of wildlife populations in the South-eastern Europe has come under huge pressure since 2015 due to the border fence constructions in response to large influxes of refugees/migrants from Asia and Africa. In the wider region (Fig. 1), in the time when this study was done extensive fences existed between the state borders of Slovenia–Croatia (178 km), Hungary–Croatia (136 km), Hungary–Serbia (175 km), Greece–Turkey (182 km), North Macedonia–Greece (30 km), and Bulgaria–Turkey (233 km) respectively (Linnell et al., 2016b; Pokorný et al., 2017).

Fences that reduce movement over a range of spatial scales can be a threatening process for populations of large mammal species (Kowalczyk et al., 2012; Linnell et al., 2016a; 2016b; Pokorný et al., 2017). In the case of large mammals, such barriers can reduce the carrying capacity of habitats (Ben-Shahar, 1993; Forman et al., 2003) and threaten species by limiting access to resources, thereby leading to population decline (Olson et al., 2009; Ito et al., 2013; Olson, 2014). Fences that limit dispersal can alter gene flow, leading to genetic isolation of populations (Martinez et al., 2002; Epps et al., 2005; Daleszczyk and Bunevich, 2009), and compromise the ability of prey species to avoid predation (Davies-Mostert et al., 2013). Fencing also raises animal welfare concerns, as animals may become ensnared in the fence and die in agony (Harrington and Coover, 2006; Olson et al., 2009; Pokorný et al., 2017).

Border fences present a significant threat to wildlife due to their large continuous lengths, and the inability to mitigate their effect on wildlife populations without compromising their security (Linnell et al., 2016b). Several studies have investigated conservation issues associated with border fences: for example, earlier extinction is predicted for the ferruginous pygmy owl (*Glaucidium brasilianum*) population due to the United States–Mexico border fences (Doublet, 2011), gene flow in European bison (*Bison bonasus*) is im-

pacted by the barrier between Belarus and Poland (Daleszczyk and Bunevich, 2009), and at the Mongolian–Chinese border, Mongolian wild asses (*Equus hemionus hemionus*) have restricted access to expansive plains of habitat (Kaczensky et al., 2011). Considering Croatia, Safner et al. (2019) did not detect any historical barrier effect of the river Kupa (which might act as a natural barrier along a part of Slovenia–Croatia border) on genetic structure of transboundary population of Northern chamois (*Rupicapra rupicapra*); however, as the state border along the river Kupa was fenced in 2015, which has caused important additional ungulate mortality (Pokorný et al., 2017), previous free transboundary gene flow may be seriously interrupted by the border fence.

At present, more investigation is required to identify threats of border fences to both animal mortality and population connectivity. As the Croatian border is in a large part fenced towards Hungary and Slovenia, and the existence of relevant databases on wildlife (particularly ungulates) mortality enables relevant insight into the issue, we used fences at the Hungary–Croatia border as a relevant case study of the influence of the border fencing on wildlife populations. However, as their construction is relatively recent (started in 2015), we emphasis the short-term impact, i.e. direct mortality of large mammals (ungulates) due to razor-wired fences, with predicting the possible long-term scenarios considering their barrier effect. In this paper, we present the first data on the direct effect of border fences constructed between Hungary and Croatia on wildlife populations.

MATERIALS AND METHODS

MATERIJALI I METODE

Study area – Područje istraživanja

Construction of the border fence between Hungary and Croatia began in September 2015 along approximately 136 km of the 355.5 km of the border (Fig. 1). This border fence is dual layered: towards Hungary a permanent 4 m high fence stands erect, whilst adjacent to this on the Croatian side is a razor-wired fence (Fig. 3A).

The fence along Hungary–Croatia border loosely follows the rivers Mura and Drava, in Pannonian region with elevations between 63 and 242 m above sea level. Land surrounding the border is largely agricultural, and forests are predominately composed of pedunculated oak (*Quercus robur*), different poplar (*Populus* sp.) and willow (*Salix* sp.) species, and narrow-leafed ash (*Fraxinus angustifolia*). Ungulates present in the area are red deer (*Cervus elaphus*), roe deer (*Capreolus capreolus*), fallow deer (*Dama dama*), and wild boar (*Sus scrofa*). The Hungary–Croatia border fence is adjacent to the transboundary Regional park Mura–Drava protected area; nine Special Areas of Conservation

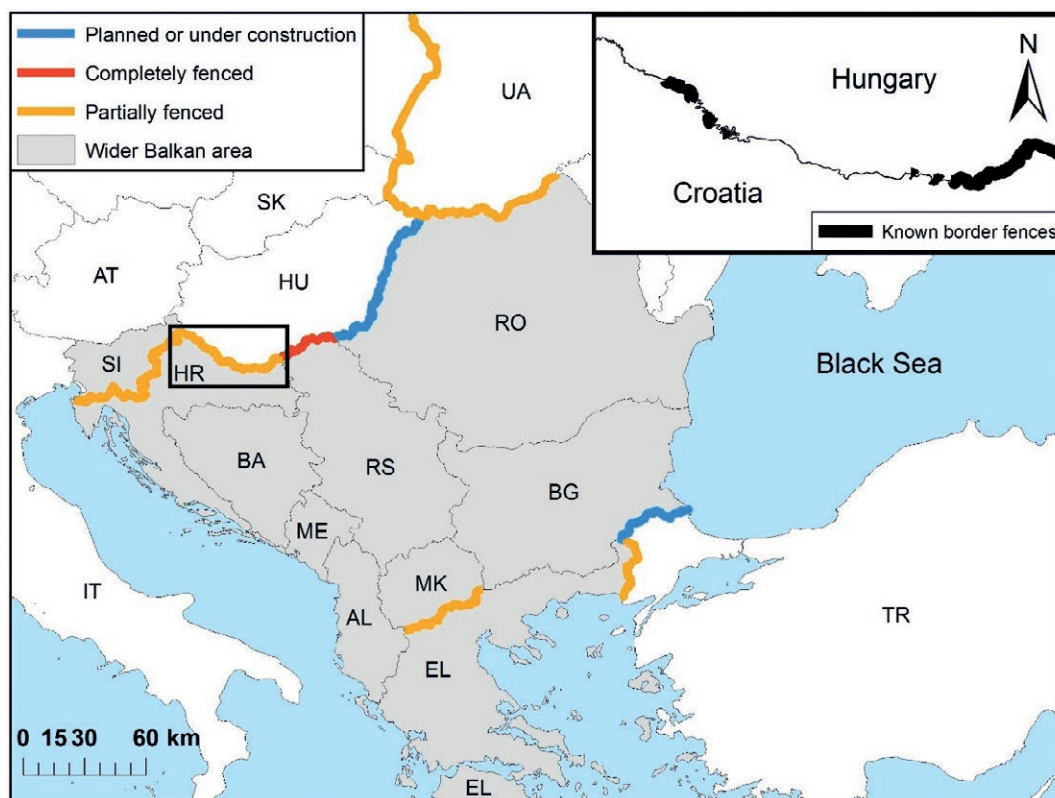


Figure 1. Map of existing and planned border fences in the South-eastern European region with detailed position of border fences at the Hungary-Croatia border (situation in 2017).

Slika 1. Karta postojećih i planiranih graničnih ograda na području jugoistočne Europe s detaljnim položajem graničnih ograda na granici između Mađarske i Hrvatske (stanje u 2017.).

(SAC) and four Special Protection Areas (SPA) of the Nature 2000 network are on Croatian side, whilst 15 SAC and two SPA are on the Hungarian side of the border.

Methods – Metode rada

Based on the Croatian hunting law (2018), all hunting organizations are required to record game animal mortality that occurs in their respective hunting grounds. This data, including data on fence-related mortality, was accessed from the official game management plans for the all 30 relevant hunting grounds that are located along the Hungary-Croatia border. However, to confirm available data and acquire additional information, we interviewed managers of these hunting grounds between September 2015 and December 2017.

The age of the dead animals was estimated by responsible hunting authorities in each hunting ground using macroscopic inspection of tooth eruption, replacement and patterns of tooth wear in mandibles (see for red deer: Lowe, 1967; Brown and Chapman, 1991; for roe deer: Aitken, 1975; Ratcliffe and Mayle, 1992; and for wild boar: Boitani and Mattei, 1992). All found animals were classified into three age groups as follows: juveniles (less than one-year-old), yearlings (between one and two years of age), and adults (older than two years), respectively.

RESULTS REZULTATI

Out of 30 Croatian hunting grounds bordering Hungary, 13 had in the study period border fence within their area. Of these 13 hunting grounds, eight reported ungulate mortalities, whilst the remaining five recorded no mortalities. After the installation of fences at Hungary-Croatia border (in September 2015), 64 ungulates (38 red deer, 23 roe deer, and three wild boar) were found entangled in or deceased due to the razor-wired fence along the Croatian side of the border alone till the end of the study period, i.e. till December 2017 (Table 1; Supplementary Table S1). In addition, two large birds were also found dead in the fence: one whooper swan (*Cygnus cygnus*), and one white stork (*Ciconia ciconia*).

Overall, these figures equate to a mortality rate of 0.47 ungulates/km of fence in the 28-months period, made up of 0.28 red deer, 0.17 roe deer, and 0.02 wild boar, respectively.

The age structure of all fenced-killed ungulates found at the Hungary-Croatia border, regardless of the species, was as follows: six juveniles (fawns/calves/piglets), nine yearlings, and 48 adults; the age of one individual was undetermined (Supplementary Table S1). Age structure of red deer casualties found in the border fence indicates higher exposure

Table 1. Structure of ungulate mortality due to the Hungary–Croatia border fence (September 2015 – December 2017).

Tablica 1. Struktura papkara stradalih na graničnoj ogradi između Hrvatske i Mađarske (rujan 2015. – prosinac 2017.).

Species <i>Vrsta</i>	Sex <i>Spol</i>	Juveniles <i>Mladi</i>	Yearlings <i>Jednogo- dišnji</i>	Adults <i>Zreli</i>	Total <i>Ukupno</i>
Red deer <i>Jelen obični</i>	Total <i>Ukupno</i>	4	3	30	38*
	M / M	1	3	16	21*
	F / Ž	3	0	14	17
Roe deer <i>Srna obična</i>	Total <i>Ukupno</i>	2	4	17	23
	M / M	1	1	5	7
	F / Ž	1	3	12	16
Wild boar <i>Divlja svinja</i>	Total <i>Ukupno</i>	0	2	1	3
	M / M	0	0	1	1
	F / Ž	0	2	0	2

* For one individual, the age was not determined.

* Za jednu jedinku dob nije bila određena.

of adults (>50%). Across all red deer mortalities in the Hungary–Croatia border fence, the sex ratio was in favour of males (21) over females (17). In the case of roe deer, seven male and 16 female mortalities were recorded (Table 1).

DISCUSSION RASPRAVA

Overall ungulate mortality rate due to the Hungary–Croatia border fence (0.20 mortalities/km of fence per year) was

1.4-folds higher in a relative comparison (i.e., corrected for a time interval and the length of fences) with previously reported figures for Slovenia–Croatia border, where mortality of 0.12 ungulates per km of fence was registered in the 10-month period along 178 km of the border fence (Pokorny et al., 2017), corresponding to annual mortality of 0.14 individuals/km of fence. In the first 10 months after the construction, i.e. when the reported fence-related mortality at the Hungary–Croatia border was the highest (reaching 0.36 individuals/km of fence; see Fig. 2), ungulate mortality was even three-folds higher than at the Slovenia–Croatia border. Higher ungulate mortality rate in razor-wired fences along Hungary–Croatia border comparing to Slovenia–Croatia one corresponds well with the known extensive distribution and high abundances of red deer, roe deer, and wild boar in the entire transboundary area between Hungary and Croatia (Csányi and Lehoczki, 2010). However, also some other factors affecting spatial behaviour, i.e. increasing mobility of ungulates (particularly red deer) in this area, such as predominant plain open landscape, vicinity of several dispersed settlements, and frequent usage of dogs in drive hunts in the Hungary–Croatia transboundary zone could increase the fence-related mortality rate of ungulates in the study area. But it should be mentioned that our figures are comparable with other reported data on fence-related mortality, i.e. along roads in Colorado and Utah, USA, where average annual mortality of ungulates was estimated at 0.25 individuals/km of fence (Harrington and Conover, 2006).

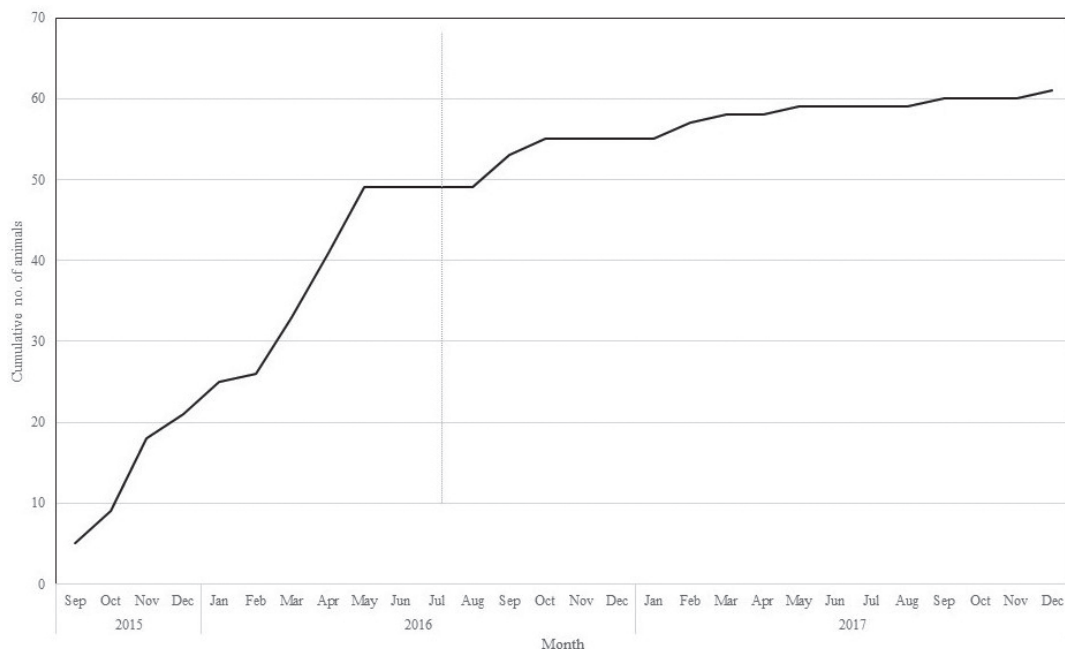


Figure 2. Cumulative monthly number of entangled animals found in the Hungary–Croatia border fence. Dotted line represents the end of the 10-month period since construction of the fence (enabling comparison with data for Slovenia–Croatia border fence; see Pokorny et al., 2017).

Slika 2. Kumulativni mjesečni broj zapletenih životinja pronađenih unutar ograde između Mađarske i Hrvatske. Točkasta linija predstavlja kraj 10-mjesečnog razdoblja od izgradnje ograde (za namjene komparacije sa rezultatima za ogradu na granici između Slovenije i Hrvatske; vidi Pokorny et al., 2017).

The age structure of all fence-killed ungulates was slightly biased towards adults which can be associated with their more intense spatial behaviour, i.e. higher mobility due to different social interactions that they face (i.e., red deer: Clutton-Brock et al., 2002; Loe et al., 2010; roe deer: Gailard et al., 2008; Debeffe et al., 2012; wild boar: Keuling et al., 2010; Jerina et al., 2014).

In roe deer, the sex structure of victims (1:2.7 in favour of females) is consistent with the expected population sex structure of this moderate polygamous species (Orłowska and Rembacz, 2016), and is also in accordance with data for Slovenia–Croatia border (Pokorný et al., 2017). On the contrary, slight male-biased mortality of red deer in fences along Hungary–Croatia border (1.1:1 in favour of males) is completely unexpected and much different from the sex structure of red deer mortality at Slovenia–Croatia border (1:5.0 in favour of females; *ibid.*). This might be attributed

to the specific demographic structure of intensively managed red deer populations in the Pannonian flatland (Rivrud et al., 2013), resulting in formation of large groups of adult stags which are almost unknown in hilly and mountain regions of the Dinaric zone. This indicates that the demographic structure of this otherwise very pronounced polygamous species is not so biased in favour of females. Moreover, red deer stags generally exhibit more intensive and variable non-migratory spatial behaviour (i.e., they have longer and more frequent roaming) and have larger home ranges than hinds (Clutton-Brock et al., 1982; Debeffe et al., 2019). In lowlands with no presence of large predators (as our study area is), the species tends to exhibit non-migratory behaviour (Kamler et al., 2008; Náhlík et al., 2009), resulting both in year-round presence of red deer in suitable habitats along the Hungary–Croatia border and in expressed differences in spatial behaviour between two

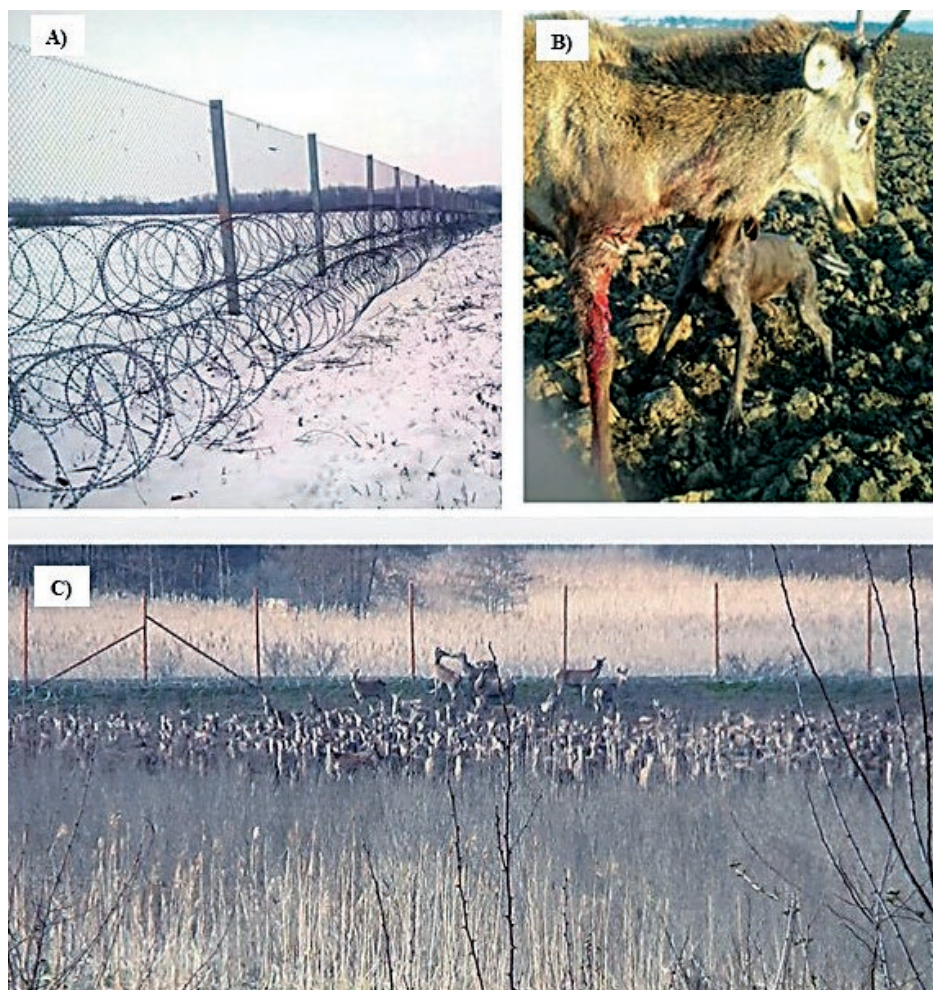


Figure 3. A) Border fence construction at the Hungary–Croatia border: the fence consists of three layers of razor wiring on the Croatian side, and a 4-metre high solid (mesh) fence towards the Hungarian side. B) Red deer (male yearling) with razor wiring injury, found alive by bloodhound dog. C) Red deer gathering in a very huge herd attempting to cross the border fence between Hungary and Croatia. (Photos made by Damir Damjanov, Vlado Salonja, and Zlatko Anadrašević).

Figure 3. A) Izgradnja granične ograde na granici između Mađarske i Hrvatske: ograda se sastoji od tri sloja bodljikave žice na hrvatskoj strani i 4 metra visoke (čvrste) ograde prema mađarskoj strani. B) Jelen obični (mužjak jednogodišnji) – živ s ozljedama od bodljikave žice kojeg je pronašao krvosljednik. C) Jelenska divljač koja se okuplja u velika krda koja pokušavaju prijeći graničnu ogradu između Mađarske i Hrvatske. (Sve fotografije napravili Damir Damjanov, Vlado Salonja i Zlatko Anadrašević).

sexes. All these factors (presumably more males in the population as in hilly areas, absence of long-distance migrations, higher roaming rate and larger home ranges in males) may together explain a male-biased mortality of red deer due to border fences in the study area.

Records of fence-related ungulate mortalities at the Hungary–Croatia border were concentrated in the first nine months (Fig. 2) after the implementation of the fence (49 carcasses; 83%). This may indicate that the behaviour of ungulates has altered in response to the border fence, which is consistent with previous findings of Pokorný et al. (2017) who also reported the highest mortality rate of red deer in initial days after the construction of the fence as a new and previously unknown obstacle for animal movements at the Slovenia–Croatia border.

It should be noted, however, that the real rates of mortality may be underestimated by our data, as ungulates may escape wounded, and then die elsewhere on the Croatian side (Fig. 3B). Indeed, out of the eight hunting grounds with registered mortality due to border fence, seven contained evidence of injured animals escaping, indicated through blood and hair that remained on razor-wired fencing. In addition, large sections of the Hungary–Croatia border fence remained unobserved, as game managers from some hunting grounds could not reach the border fence due to several obstacles (i.e., river, ravines, or the remaining minefields from the 1990s).

While our results are limited to the Croatian side of the border fence, the mortality on the Hungarian side is expected to be minimal or even non-existent. Indeed, the additional four-metre high solid mesh fence on the Hungarian side presents no direct mortality risk, as the layer of razor wiring is out of reach for ungulates, i.e. it is constructed at the top of the fence, while on the Croatian side razor-wired fencing is on the ground level (Fig. 3A). However, due to such design the border fence is completely impermeable for large mammals which may be, in comparison to direct mortality of wildlife, much more serious ecological risk as it affects the connectivity of populations (see Linnell et al., 2016b).

Fence structure may be very important factor affecting the mortality rate of ungulates. For example, no wild boar mortality was registered in the Slovenia–Croatia border fence, instead they were observed several times managing to pass successfully through the razor-wired fence (Pokorný et al., 2017). In contrast, three mortalities of wild boar were recorded when animals attempted to cross from Croatia to Hungary. We believe this could be due to differences in fencing as there is a second, four-meter high solid mesh fence beyond the razor wires (Fig. 3A) blocking movement through to Hungary, and therefore trapping the animal in between the two fences. It is clear when considering comprehensive ecological effects of border fences, i.e. both the direct impact on wildlife mortality and their indirect impact as a barrier in the ecosystem, razor-wired fences *per se* are

not as strong negative factor as when they are combined with solid mesh fences. The latter, although not directly contributing to wildlife mortality, may importantly increase this risk when constructed together with razor-wired fences. Alone, these impermeable fences may seriously diminish the connectivity of populations, without having any direct and obvious negative effects, i.e. without causing the direct mortality of individuals. It should be mentioned that Slovenia has, at several locations, begun changing the fence type from razor-wired fences into a panel design, which may even have more pronounced negative impacts on large mammal populations in the future.

Short-term consequences of the border fences along Croatian border with Hungary are clear in terms of direct mortality, and as an obstruction to the movement of animals in the case of the dual-layer fences and/or solid mesh fences alone, which are impermeable. Regarding the observed species, it must be considered that both red deer and roe deer are known to perform regular movement within their distribution range under specific environmental characteristics (see Georgii, 1980; Georgii et al., 1983; Luccarini et al., 2006; Mysterud et al., 2011 for red deer; and Wahlstrom and Lieberg, 1995; Mysterud, 1999; Cagnacci et al., 2011 for roe deer): the impacts of fencing can be obviously more severe in such circumstances. Therefore, possible long-term and cumulative consequences of border fencing must also be of a significant largescale concern.

There are documented evidences that ungulate species in the region often cross state boundaries freely. Feulner et al. (2004), for example, stated that there are no movement barriers for red deer within the Carpathian region, and movement is known to take place between western Romania and the Banat (Serbia) as well as between Bačka (Serbia), Hungary and Croatia. This is confirmed by the reports by some of the interviewed game managers, whom observed red deer gathering in huge herds as they attempt to cross the border fence between Hungary and Croatia (Fig. 3C). This kind of behaviour of red deer in the area had not been previously recorded, and game managers attributed it to the border fence effect.

CONCLUSION ZAKLJUČAK

64 ungulates and two large birds deceased due to the razor-wired fence along the Croatia–Hungary border in 28-month study period are strong evidence that border fences present important new manmade threat to wildlife. Therefore, in the case that current fences will remain or continue to expand along the northern boundary of the South-eastern Europe, it is likely that wildlife populations will suffer much more than just short-term damage (e.g. mortality due to attempts to cross the fence) as the effects on the genetic structure will become more prominent with time.

In addition to the negative biological effects within population/species, border fences break the connectivity of the Natura 2000 network in Europe and violate several major wildlife treaties (Linnell et al., 2016a, 2016b), challenging the policies of European Union (e.g. EEC Habitats directive and Convention on Biological Diversity), and creating a dangerous precedent for other activities that affect the connectivity of ecosystems.

ACKNOWLEDGEMENTS

ZAHVALA

The authors would like to thank to all gamekeepers for great assistance in collecting data on ungulate mortality in fences along Hungary–Croatia border. Special thanks for the photos' provider: Damir Damjanov, Vlado Salonja, and Zlatko Anadrašević. This study was supported by the RESBIOS European Union's Horizon 2020 Research and Innovation Program (No. 872146). Both Slovene co-authors of the paper are members of the research program Forest biology, ecology and technology (P4–0107) which is financed by the Slovenian Research Agency. We would like to thank the Editor in chief, Prof. Josip Margaletić, the reviewer, Prof. Krešimir Krapinec, and the anonymous reviewer for their helpful comments on earlier draft of the manuscript.

REFERENCES

LITERATURA

- Aitken, R.J., 1975: Cementum layers and tooth wear as criteria for ageing roe deer (*Capreolus capreolus*). *J Zool*, 175: 15–28.
- Apollonio, M., Andersen, R., Putman, R., 2010: European ungulates and their management in the 21st century. Cambridge, Cambridge University Press, 618 pp.
- Ben-Shahar, R., 1993: Does fencing reduce the carrying capacity for populations of large herbivores? *J Trop Ecol*, 9: 249–253.
- Boitani, L., Mattei, L., 1992: Aging wild boar (*Sus scrofa*) by tooth eruption. In: Spitz, F., Janeu, G., Gonzales, G., Aulagnier, S. (Eds.). *Ongules/Ungulates 91. Proceedings of the International Symposium. S.F.E.P.M.-I.R.G.M., Paris, Toulouse, France*, 419–421.
- Brown, W.A.B., Chapman, N.G., 1991: The dentition of red deer (*Cervus elaphus*): a scoring scheme to assess age from wear of the permanent molariform teeth. *J Zool*, 224: 519–536.
- Cagnacci, F., Focardi, S., Heurich, M., Stache, A., Hewison, A.J.M., Morellet, N., Kjellander, P., Linnell, J.D.C., Myrsterud, A., Neteler, M., Delucchi, L., Ossi, F., Urbano, F. 2011: Partial migration in roe deer: migratory and resident tactics are end points of a behavioural gradient determined by ecological factors. *Oikos*, 120: 1790–1802.
- Chapron, G., Kaczensky, P., Linnell, J.D.C., von Arx, M., Huber, Dj., Andrén, H., et al., 2014: Recovery of large carnivores in Europe's modern human-dominated landscape. *Science*, 346: 1517–1519.
- Clutton-Brock, T.H., Coulson, T.N., Milner-Gulland, E.J., Thomson, D., Armstrong, H.M., 2002: Sex differences in emigration and mortality affect optimal management of deer populations. *Nature*, 415: 633–637.
- Clutton-Brock, T.H., Guinness, F.E., Albon, S.D., 1982: *Red deer: Behavior and ecology of two sexes*. Chicago, University of Chicago Press, 378 pp.
- Csányi, S., Lehoczki, R., 2010: Ungulates and their management in Hungary. In: Apollonio, M., Andersen, R., Putman, R. (Eds.). *European ungulates and their management in the 21st century*. Cambridge, Cambridge University Press, pp. 291–318.
- Daleszczyk, K., Bunevich, A.N., 2009: Population viability analysis of European bison populations in Polish and Belarusian parts of Białowieża Forest with and without gene exchange. *Biol Conserv*, 142: 3068–3075.
- Davies-Mostert, H.T., Mills, M.G.L., Macdonald, D.W., 2013: Hard boundaries influence African wild dogs' diet and prey selection. *J Appl Ecol*, 50: 1358–1366.
- Debeffe, L., Morellet, N., Cargnelutti, B., Lourtet, B., Bon, R., Gailard, J.M., Hewison, A.J.M., 2012: Condition-dependent natal dispersal in a large herbivore: heavier animals show a greater propensity to disperse and travel further. *J Anim Ecol*, 81: 1327–1337.
- Debeffe, L., Rivrud, I.M., Meisingset, E.L., Myrsterud, A., 2019: Sex-specific differences in spring and autumn migration in a northern large herbivore. *Sci Rep*, 9: 6137.
- Doublet, D., 2011: Effects of the United States-Mexico border fence on wildlife migration. Ge375 Final research Project.
- Epps, C.W., Palsbell, P.J., Wehausen, J.D., Roderick, G.K., Ramey II, R.R., McCullough, R., 2005: Highways block gene flow and cause a rapid decline in genetic diversity of desert bighorn sheep. *Ecol Lett*, 8: 1029–1038.
- Feulner, P.G.D., Bielfeldt, W., Zachos, F.E., Bradvarovic, J., Eckert, I., Hartl, G.B., 2004: Mitochondrial DNA and microsatellite analyses of the genetic status of the presumed subspecies *Cervus elaphus montanus* (Carpathian red deer). *Heredity*, 93: 299–306.
- Fleurke, F.M., Trouwborst, A., 2014: European regional approaches to the transboundary conservation of biodiversity. In: Kotze, L., Marauhn, T. (Eds.). *Transboundary Governance of Biodiversity*. Martinus Nijhoff, pp 128–162.
- Fonseca, C., Torres, R., Santos, P.V.J., Vingada, J., Apollonio, M., 2014: Challenges in the management of cross-border populations of ungulate. In: Putman, R., Apollonio, M. (Eds.). *Behaviour and management of European ungulates*. Whittles Publishing, pp. 192–208.
- Forman, R.T.T., Sperling, D., Bissonette, J.A., Clevenger, A.P., Cutshall, C.D., Dale, V.H., Fahring, L., France, R., Goldman, C.R., Heanue, K., Jones, J.A., Swanson, F.J., Turrentine, T., Winter, T.C., 2003: *Road ecology: science and solutions*. Washington, Covelo & London, Island Press.
- Gaillard, J.M., Hewison, A.J.M., Kjellander, P., Pettorelli, N., Bonenfant, C., Van Moorter, B., Liberg, O., Andren, H., Van Laere, G., Klein, F., Angibault, J.M., Coulon, A., Vanpé, C., 2008: Population density and sex do not influence fine-scale natal dispersal in roe deer. *Proc Royal Soc B: Biol Sci*, 275: 2025–2030.
- Georgii, B., 1980: Home range patterns of female red deer (*Cervus elaphus*) in the Alps. *Oecologia*, 47: 278–285.
- Georgii, B., Schröder, W., 1983: Home range and activity patterns of male red deer (*Cervus elaphus*) in the Alps. *Oecologia*, 58: 238–248.
- Harrington, J.L., Conover, M.R., 2006: Characteristics of ungulate behaviour and mortality associated with wire fences. *Wild Soc Bull*, 34: 1295–1305.
- Ito, T.Y., Lhagvasuren, B., Tsunekawa, A., Shinoda, M., Takatsuki, S., Buuveibaatar B., et al., 2013: Fragmentation of the habitat of wild ungulates by anthropogenic barriers in Mongolia. *PLoS One* 8: e56995.
- Jerina, K., Pokorný, B., Stergar, M., 2014: First evidence of long-distance dispersal of adult female wild boar (*Sus scrofa*) with piglets. *Eur J Wild Res*, 60: 367–370.

- Kaczensky, P., Kuehn, R., Lhagvasuren, B., Pietsch, S., Yang, W., Walzer, C., 2011: Connectivity of the Asiatic wild ass population in the Mongolian Gobi. *Biol Conserv*, 144: 920–929.
- Kamler, J.F., Jędrzejewski, W., Jędrzejewska, B., 2008: Home ranges of red deer in a European old growth forest. *Am Midl Nat*, 159: 75–82.
- Keuling, O., Lauterbach, K., Stier, N., Roth, M., 2010: Hunter feedback of individually marked wild boar *Sus scrofa* L.: dispersal and efficiency of hunting in northeastern Germany. *Eur J Wild Res*, 56: 159–167.
- Kowalczyk, R., Schmidt, K., Jędrzejewski, W., 2012: Do fences or humans inhibit the movements of large mammals in Białowieża Primeval Forest. In: Somers, M.J., Hayward, M.W. (Eds.). *Fencing for conservation: Restriction of evolutionary potential or a riposte to threatening process?* New York, Dordrecht, Heidelberg & London, Springer, pp. 235–244.
- Kryštufek, B., 2004: A quantitative assessment of Balkan mammal diversity. In: Griffiths, H.I., Kryštufek, B., Reed, J.M. (Eds.) *Balkan biodiversity*. New York, Dordrecht, Heidelberg & London, Springer, pp. 79–108.
- Linnell, J.D.C., Huber, D.J., Trouwborst, A., Boitani, L., 2016a: Border controls: refugee fences fragment wildlife. *Nature*, 529: 156.
- Linnell, J.D.C., Trouwborst, A., Boitani, L., Kaczensky, P., Huber, D.J., Reljić, S., Kusak, J., Majić, A., Skrbinišek, T., Potočnik, H., Hayward, W.M., Milner-Gulland, E.J., Buuveibaatar, B., Olson, A.K., Badamjav, L., Bischof, R., Zuther, S., Breitenmoser, U., 2016b: Border security fencing and wildlife: the end of the transboundary paradigm in Eurasia? *PLoS Biology* 14: e1002483.
- Loe, L.E., Mysterud, A., Veiberg, V., Langvatn, R., 2010: No evidence of juvenile body mass affecting dispersal in male red deer. *J Zool*, 280: 84–91.
- Lowe, V.P.W., 1967: Teeth as indicators of age with special reference to red deer (*Cervus elaphus*) of known age from Rhum. *J Zool*, 152: 137–153.
- Luccarini, S., Mauri, L., Ciuti, S., Lamberti, P., Apollonio, M., 2006: Red deer (*Cervus elaphus*) spatial use in the Italian Alps: home range patterns, seasonal migrations, and effects of snow and winter feeding. *Ethol Ecol Evol*, 18: 127–145.
- Martinez, J.C., Carranza, J., Fernandez-Garcia, L., Sanchez-Prieto, C.B., 2002: Genetic variation in red deer population under hunting exploitation in South-Western Spain. *J Wild Manage*, 66: 1273–1282.
- Mysterud, A., 1999: Seasonal migration pattern and home range of roe deer (*Capreolus capreolus*) in an altitudinal gradient in southern Norway. *J Zool*, 24: 479–486.
- Mysterud, A., Loe, L.E., Zimmermann, B., Bischof, R., Veiberg, V., Meisingset, E., 2011: Partial migration in expanding red deer populations at northern latitudes – a role for density dependence? *Oikos*, 120: 1817–1825.
- Náhlik, A., Sandor, G., Tari, T., Kiraly, G., 2009: Space use and activity patterns of red deer in highly forested and in a patchy forest-agricultural habitat. *Acta Silv Lign Hung*, 5: 109–118.
- Noss, R. F., Platt, W.J., Sorrie, B.A., Weakley, A.S., Means, D.B., Costanza, J., Peet, R.K., 2015: How global biodiversity hotspots may go unrecognized: lessons from the North American Coastal Plain. *Diver Distrib*, 21: 236–244.
- Olson, K.A., 2014: Saiga crossing options: guidelines and recommendations to mitigate barrier effects of border fencing and railroad corridors on Saiga antelope in Kazakhstan. *Smithsonian Conservation Biology Institute*.
- Olson, K.A., Mueller, T., Leimgruber, P., Nicolson, C., Fuller, T.K., Bolortsetseg, S. et al., 2009: Fences impede long-distance Mongolian gazelle (*Procapra gutturosa*) movements in drought-stricken landscapes. *Mong J Biol Sci*, 7: 45–50.
- Orłowska, L., Rembacz, W., 2016: Population dynamics and structure of roe deer (*Capreolus capreolus*) inhabiting small-size forests in north-western Poland. *Fol Zool*, 65: 52–58.
- Pokorny, B., Flajšman, K., Centore, L., Kroppe, F.S., Šprem, N., 2017: Border fence: a new ecological obstacle for wildlife in Southeast Europe. *Eur J Wild Res*, 63: 1.
- Ratcliffe, P.R., Mayle, B.A., 1992: Roe deer biology and management. *For Comm Bull*, 105: 28 pp.
- Rivrud, I.M., Sonkoly, K., Lehocski, R., Csanyi, S., Størvik, G.O., Mysterud, A., 2013: Hunter selection and long-term trend (1881–2008) of red deer trophy sizes in Hungary. *J App Ecol*, 50: 168–180.
- Safner, T., Buzan, E., Rezić, A., Šprem, N., 2019: Small-scale spatial genetic structure of Alpine chamois (*Rupicapra rupicapra*) in Northern Dinarides. *Eur J Wild Res*, 65: 2.
- Wahlström, L.K., Liberg, O., 1995: Patterns of dispersal and seasonal migration in roe deer (*Capreolus capreolus*). *J Zool*, 235: 455–467.
- Zachos, F.E., Habel, J.C., 2011: *Biodiversity hotspots: distribution and protection of conservation priority areas*. Berlin, Springer.

SAŽETAK

Konzervatorska vrijednost prekograničnog gospodarenja populacijama divljih životinja u Europi, koja je obilježila kraj 20. i početak 21. stoljeća, našla se pod velikim pritiskom od 2015., posebice u jugoistočnoj Europi, zbog izgradnje graničnih ograda kao odgovor na velike prilive izbjeglica/migranata. Primarni je cilj ovoga rada predstaviti podatke o izravnim utjecajima ograde na divlje životinje (npr. smrtnost od ograde) preko mađarsko–hrvatske granice. Prikupili smo podatke o smrtnosti životinja vezanih uz granične ograde (ukupne dužine 136 km) u prvih 28 mjeseca poslije konstrukcije. Ukupno je pronađeno 64 dvopapkara (38 jelena običnog, 23 srne obične i tri divlje svinje) upleteno ili uginulo zbog bodljikave žice. Uz to, predstavljamo izravne (fotografske) dokaze o novo zabilježenom ponašanju jelenske divljači, okupljajući se u velika krda koja pokušavaju prijeći graničnu ogradu između Mađarske i Hrvatske. Kratkoročni učinak granične ograde ogleda se u obliku izravne smrtnosti životinja, a isto tako i kao opstrukcije kretanju i ponašanja životinja. Ako postojeće ograde ostanu ili se nastave širiti duž sjeverne granice jugoistočne Europe, vjerojatno je da će fragmentirane populacije divljih životinja u regiji patiti od negativnih učinaka genetske podjele, poput gubitka alela i smanjene heterozigotnosti, što može izazvati dugoročno značajnije štete u vitalnosti tih populacija.

KLJUČNE RIJEČI: granična ogradnja, uginuće divljih dvopapkara, fragmentacija staništa, jelen obični, srna obična, divlja svinja, jugoistočna Europa

Table S1: Registered ungulate mortality due to the Hungary–Croatia border fence, period September 2015 to December 2017.**Tablica S1:** Registrirana smrtnost papkara zbog granične ograde između Mađarske i Hrvatske, u razdoblju od rujna 2015. do prosinca 2017. godine.

No.	Hunting Management District <i>Lovno područje</i>	Hunting ground <i>Lovište</i>	Species <i>Vrsta</i>	Sex <i>Spol</i>	Age (years)* Dob (godine)*	Date <i>Datum</i>
1	Koprivničko-križevačka	Gola Gotalovo	Roe deer	F	1	Sep 2015
2			Roe deer	F	3	Sep 2015
3			Roe deer	M	5	Oct 2015
4			Roe deer	F	6	Nov 2015
5			Roe deer	M	2	Nov 2015
6			Roe deer	M	3	Feb 2017
7			Red deer	M	2	Mar 2017
8	Koprivničko-križevačka	Repaš	Roe deer	F	2	Mar 2016
9			Roe deer	F	4	Mar 2016
10			Roe deer	F	1	Mar 2016
11			Red deer	M	3	Mar 2016
12			Red deer	M	4	Apr 2016
13			Red deer	F	6	Apr 2016
14			Red deer	F	2	Apr 2016
15			Red deer	F	5	May 2016
16			Red deer	M	2	May 2016
17			Wild boar	F	1	May 2016
18			Wild boar	F	1	May 2016
19			Red deer	M	<1	Sep 2016
20			Red deer	F	<1	Sep 2016
21			Red deer	F	3	Oct 2016
22			Wild boar	M	2	Oct 2016
23			Red deer	M	5	Feb 2017
24	Koprivničko-križevačka	Peski	Red deer	M	1	Mar 2016
25			Red deer	F	4	Apr 2016
26			Red deer	M	3	Apr 2016
27	Osječko-baranjska	Podravlje	Red deer	F	3	Sep 2016
28			Red deer	F	5	Sep 2016
29	Osječko-baranjska	Baranjsko Petrovo selo	Roe deer	F	2	Oct 2015
30			Roe deer	F	4	Nov 2015
31			Roe deer	M	1	Nov 2015
32			Red deer	F	<1	Nov 2015
33			Red deer	M	2	Dec 2015
34			Red deer	M	6	Jan 2016
35			Red deer	M	4	Feb 2016
36			Roe deer	F	3	May 2016
37			Red deer	M	2	May 2016

No.	Hunting Management District <i>Lovno područje</i>	Hunting ground <i>Lovište</i>	Species <i>Vrsta</i>	Sex <i>Spol</i>	Age (years)* Dob (godine)*	Date <i>Datum</i>
38	Osječko-baranjska	Luč	Red deer	M	-	Sep 2015
39			Red deer	M	2	Sep 2015
40			Red deer	F	2	Sep 2015
41			Roe deer	M	<1	Oct 2015
42			Roe deer	F	3	Oct 2015
43			Roe deer	F	1	Nov 2015
44			Red deer	M	1	Nov 2015
45			Red deer	F	<1	Nov 2015
46			Roe deer	F	5	Nov 2015
47			Roe deer	M	3	Dec 2015
48			Red deer	M	3	Dec 2015
49			Red deer	M	2	Jan 2016
50			Red deer	F	5	Jan 2016
51			Roe deer	M	2	Jan 2016
52			Roe deer	F	2	Mar 2016
53			Roe deer	F	<1	Mar 2016
54			Roe deer	F	8	Apr 2016
55			Roe deer	F	6	May 2016
56	Osječko-baranjska	Duboševica	Red deer	M	1	Apr 2016
57			Red deer	F	3	Apr 2016
58			Red deer	F	6	May 2016
59			Red deer	F	10	-
60			Red deer	M	6	-
61	Osječko-baranjska	Topolje	Red deer	M	10	Sep 2017
62			Red deer	F	4	-
63			Red deer	F	5	May 2017
64			Red deer	M	4	Dec 2017

* Age was assessed on the basis of tooth eruption and wear; <1 means calf/fawn, 2+ means adult but precise age is unknown.

* Dob je procijenjena na temelju erupcije i istrošenosti zuba; <1 znači tele/lane, 2+ znači zrele jedinke, ali nije poznata precizna dob.

HOW MYCORRHIZAS CAN HELP FORESTS TO COPE WITH ONGOING CLIMATE CHANGE?

KAKO MIKORIZE MOGU POMOĆI ŠUMAMA DA SE NOSE S AKTUALNIM KLIMATSKIM PROMJENAMA

Marina MILOVIĆ¹, Marko KEBERT², Saša ORLOVIĆ³

ABSTRACT

The ongoing climate change have multi-faceted effects not only on metabolism of plants, but also on the soil properties and mycorrhizal fungal community. Under climate change the stability of the entire forest ecosystems and the carbon balance depend to a large degree on the interactions between trees and mycorrhizal fungi. The main drivers of climate change are CO₂ enrichment, temperature rise, altered precipitation patterns, increased N deposition, soil acidification and pollutants, ecosystem fragmentation and habitat loss, and biotic invasion. These drivers can impact mycorrhizal community directly and indirectly. We discussed the influence of each driver on mycorrhizal community and outlined how mycorrhizas play an important role in the resilience and recovery of forest ecosystems under climate change, by mitigating detrimental effects of CO₂ enrichment, temperature rise, drought, lack of nutrients, soil acidification, pollutants, pests, and diseases. Conservation of the overall biodiversity in forest ecosystems as well as providing the most favourable conditions for the development of mycorrhizae can contribute to increasing the resilience of forest ecosystems to climate change.

KEY WORDS: mycorrhizal fungi, forest trees, colonisation, increase of CO₂, drought

CLIMATE CHANGE AND MYCORRHIZAE KLIMATSKJE PROMJENE I MIKORIZE

Global explosive growth of human population and over-consumption of fossil fuels in industrial era, caused exceeded emission of anthropogenic greenhouse gases. Their effects, together with effects of other anthropogenic drivers, are responsible for climate change which has become the greatest threat and challenge for natural ecosystems and their services. Climate change, characterized by a decrease in cold temperature extremes, an increase in warm temperature extremes, increased frequency and amplitude of heat waves, as well as altered precipitation patterns in a number of regions around the globe, has emerged as one of the most important issues of our time (IPCC, 2014).

Considering the fact that forest trees, through the process of photosynthesis, remove carbon dioxide (CO₂) from the atmosphere and store carbon in the form of tree biomass in the process called carbon sequestration, forests and climate change are intrinsically linked, since forests have a significant role in mitigation of climate change. On average two-thirds of carbon in forests are stored in soil, where a great deal of it is protected against turnover because it is captured in form of soil aggregates or chemical complexes (FAO, 2006).

However, climate change could detrimentally affect the growth and condition of forest trees. The severe impact of elevated air temperature and prolonged summer drought periods predicted by dramatic climate change scenarios,

¹ dr. Marina Milović, University of Novi Sad, Institute of Lowland Forestry and Environment, Antona Čehova 13, 21000 Novi Sad, Serbia, e-mail: katanicm@uns.ac.rs

² dr. Marko Kebert, University of Novi Sad, Institute of Lowland Forestry and Environment, Antona Čehova 13, 21000 Novi Sad, Serbia, e-mail: kebertmarko@gmail.com

³ prof. dr. Saša Orlović, University of Novi Sad, Institute of Lowland Forestry and Environment, Antona Čehova 13, 21000 Novi Sad, Serbia, e-mail: sasao@uns.ac.rs

can lead not only to migrations (change of xeric distributional limits) of different forest tree species, but also to mortality of forest trees and decline of entire forests (Stojanović et al., 2013). Moreover, climate change can disturb the soil carbon balance by reducing carbon storage and by inducing a large positive feedback to atmospheric CO₂ levels. Not only that disturbances could affect soil carbon storage and do harm to the trees, they could also accelerate nutrient cycling, alter microbial community structure, and change dynamics of soil food web. Carbon storage in soils involves complex interactions between plants and soil organisms and depends on the balance between carbon inputs through photosynthesis and outputs through respiration, which are both affected by climate change (Simard and Austin, 2010).

Under climate change the stability of the entire forest ecosystems and the carbon balance depend to a large degree on the interactions between trees and soil microorganisms, especially mycorrhizal fungi. Mycorrhizal fungi make mutualistic association with more than 90% of plant species and represent the key players in carbon dynamics and carbon fluxes among plants, soil and the atmosphere, due to their well branched system of hyphae which is used to obtain water and nutrients from the soil and deliver them to the host plant in exchange for photosynthetically produced carbohydrates (Smith and Read, 2008; Simard and Austin, 2010).

In temperate regions there are two dominant types of mycorrhizas. Ectomycorrhiza is formed mainly by ectomycorrhizal (ECM) fungi from phyla Basidiomycota and Ascomycota with trees and shrubs. Sporocarps of many ECM fungal species are edible, some even delicious and expensive (Katanić et al., 2017). An ECM root is characterized by three structural components: a mantle (or sheath), a Hartig net and an extraradical (extramatrical or external) mycelium. The mantle is a structure formed by fungal hyphae that enclose the rootlet. Function of Hartig net, a labyrinthine intercellular network, is exchange of nutrients between partners in ECM. Extraradical mycelium is an outwardly growing system of hyphal elements (hyphae, rhizomorphs and cystidia) which connect ECM fungus with both the soil and the sporocarps. This is an extensive system which increase the surface area of colonized root in the contact with soil, and it is active in absorption of nutrients and water (Smith and Read, 2008).

Arbuscular mycorrhiza is formed by arbuscular mycorrhizal (AM) fungi from phylum Glomeromycota with 80-90% of all plants but primarily with grasses and herbs. The name “arbuscular” is derived from characteristic three like structures, arbuscules which occur within cortical cells of plant and increase the contact area between symbionts. These structures are together with storage vesicles considered diagnostic for AM symbiosis (Smith and Read, 2008).

The main difference between these two types of mycorrhizae is that in ECM hyphae never enter plant cells while in AM fungal structures are mainly formed within cells of their host. AM fungi never produce mantle and their extraradical mycelium is not so complexly developed as in ECM fungi (Smith and Read, 2008). However, in both ECM and AM fungi extensive external mycelial networks can function in the colonization of new seedlings and transfer of carbon, nutrients or water between plants of the same or different species thus affecting plant and fungal community dynamics (Simard et al., 2002; Selosse et al., 2006; Smith and Read, 2008).

Considering the fact that the small and profuse hyphae have about 60 times more absorptive area than fine roots, during drought stress plants invest their photosynthetic carbon (4-20 %) in the development of hyphae, due to the higher efficacy of hyphae in provision of inaccessible water. Generally, as nutrient and water limitations increase, plants allocate more photosynthate to mycorrhizal hyphae to increase soil resource uptake (Simard et al., 2002; Smith and Read, 2008).

Although mycorrhizal fungi are not saprotrophic, in cases when amounts of plant photosynthates are low, some ECM fungi are prone to enzymatically decompose large organic molecules (e.g. proteins, chitin, pectin, hemicellulose, cellulose) as an alternative carbon and energy source, which is not specific for AM fungi (Talbot et al., 2008). On the other hand, arbuscular mycorrhizal fungi play important roles in promoting soil aggregation and soil carbon storage. Although AM hyphae turnover is short (lasts from days to a few months), AM fungi are able to deposit significant amounts of relatively recalcitrant carbon compounds such as chitin and glomalin. Glomalin binds small soil particles, promoting in that way aggregation and soil stability (Simard and Austin, 2010).

The ongoing climate change have multi-faceted effects not only on metabolism of plants, but also on the soil properties and all microorganisms including mycorrhizal fungal communities (Simard and Austin, 2010). Beside pivotal role of mycorrhizal fungi in linking aboveground and belowground components of forest ecosystems through common mycelial network, mycorrhizal fungi can improve plant tolerance to unfavorable abiotic stress factors such as heat, drought, salinity or presence of heavy metals, as well as boost plant immunity and increase resistance to pathogens and provide other ecosystem services (Smith and Read, 2008; Smith et al, 2010; French, 2017).

There are a lot of unfavorable factors and processes connected with climate change which influence forest ecosystems stability. According to Bellgard and Williams (2011) they are called the drivers of climate change and include: increasing CO₂ concentration in the atmosphere, temperature rise, altered precipitation, increased N deposition, soil

acidification and pollutants, ecosystem fragmentation and habitat loss, and biotic invasion. These factors impact soil-rhizosphere, plant and fungal physiology and entire ecosystem directly and indirectly. Direct effects include changes in resources available to mycorrhizas and change in distribution of mycorrhizas. Indirect effects include changes in carbon allocation below ground to roots and mycorrhizas and changes in host plant species distribution (Bellgard and Williams, 2011).

Climate change ecological drivers can be divided according to the time frames related to the longevity of their influence on the planet and nature. Ecosystem fragmentation and habitat loss have immediate impacts (1–2 years); biotic invasions of exotic mycorrhizal fungi, plants and pests, diseases and other abiotic perturbations have short-term impacts (3–10 year); cumulative and additive effects of increased nitrogen (N) and sulphur (S) deposition, soil acidification and other pollutants have intermediate-term impacts (11–20 year); increase of CO₂ concentration in the atmosphere and temperatures are destabilizing global rainfall patterns, soil properties and plant ecosystem resilience which have long-term impacts (21–50+ year) on the whole planet (Bellgard and Williams, 2011).

Effects of increasing CO₂ concentration in the atmosphere on mycorrhizae – Učinci povećanja koncentracije CO₂ u atmosferi na mikorize

Since the beginning of the Industrial Revolution (1750–1800), concentration of CO₂ in the atmosphere has increased from 280 ppm (parts per million) to approximately 400 ppm at present. This CO₂ increment is strongly correlated with increase in fossil fuels consumption and change in land use (Houghton, 1988; Bellgard and Williams, 2011).

Increase of atmospheric CO₂ can affect mycorrhizal fungi indirectly through its impacts on host plants. Generally, plants can respond to this increase with higher productivity and their mycorrhizal symbionts can be proportionately larger (Staddon et al., 2002). Hence, higher plant productivity increases water and nutrient demands and increased photosynthesis enables plants to transfer more carbon belowground to roots and mycorrhizas (Pritchard et al., 2008), which stimulates mycorrhizal abundance and activity and favors the development of more extensive mycorrhizal networks with higher transfer capacity (Simard and Austin, 2010). However, under low N availability, increased CO₂ stimulates aboveground and belowground biomass in ECM plants but has no effect in AM plants. So, only plants in association with ECM fungi can overcome nitrogen limitation (Terrer et al., 2016).

Increase of CO₂ concentration in the atmosphere could cause alteration in mycorrhizal community structure as well. This change is dependent on the abilities of different

fungal taxa to exploit carbon pools and nutrients or to adapt to the changing environment (Staddon et al., 2002; Simard and Austin, 2010). When elevated CO₂ in the atmosphere increases belowground carbon allocation and stimulates nutrient deficiencies, exploration types of ECM fungi with hydrophobic rhizomorphs (medium- to long-distance exploration types) may be favoured because of their specific exploration strategies for accessing insoluble or stable nutrient patches (Hobbie and Agerer, 2010; Lilleskova et al., 2011). Since the effects of increased CO₂ in the atmosphere on plants are species-specific, plant community structure is also changed, which will in turn cause alteration in the community of mycorrhizal fungi in environment with enriched CO₂ (Staddon et al., 2002).

Effects of increased air and soil temperature on mycorrhizae – Učinci povećanja temperature zraka i tla na mikorize

The global surface temperature (calculated by averaging the temperature at the sea surface and air temperature over land) has increased over the last century by approx. 0.6°C (Bellgard and Williams, 2011). It was proved that temperature has direct effects on mycorrhiza. Namely, temperature affects the amount of resources available to mycorrhizas and distribution of mycorrhizas and their propagules. All organisms have temperature optimum because enzymatic activity is highly dependent on temperature. Since temperature affects plants it will also indirectly affect mycorrhizal fungi through its effects on their host plants (Staddon et al., 2002).

Generally, plant growth can be increased with soil temperature, but it can be decreased if nutrients or water in soil are deficient or reduced. On the other hand, warming is likely to increase respiration and decomposition rates and has the potential to change the availability of soil nutrients. To meet increasing demands for nutrients and water under increased temperature, mycorrhizal fungi will enhance their activity as the plants increase their productivity with soil temperature rise. In soil warming conditions, mycorrhizal fungal abundance has been shown to increase and community of ectomycorrhizal fungi has been recorded to change toward dominance of fungi with long-distance exploration capabilities that enable them to compete for scarce nutrients and contribute to soil carbon storage (Pendal et al., 2004; Simard and Austin, 2010).

Effects of alteration in precipitation pattern on mycorrhizae – Učinci promjene distribucije oborina na mikorize

It is certain that climate change is going to alter precipitation pattern locally, i.e. its intensity, frequency, duration, and amounts, which is likely to cause episodes of drought (Bellgard and Williams, 2011). Increased frequency and du-

ration of drought episodes will negatively impact plants primarily by reducing plant biomass accumulation but also decreasing shoots height and survival (Vuksanović et al., 2019). Since low water content in soil influences nutrient availability and soil structure, mycorrhizal fungi may play significant positive roles in mitigation of water and nutrient deficiency (Smith et al., 2010).

Fungal hyphae are capable of exploring a larger soil volume than plant fine roots and therefore can mine available water from soil. Mycorrhizal plants can obtain nutrients from progressively narrow pores, as soil becomes drier or more compacted. (Smith et al., 2010). Furthermore, ECM fungi influence plant osmotic regulation and increase water-use efficiency because they increase mineral uptake and transfer and provide growth regulators (such as abscisic acid and cytokinins), that result in a reduction of water potential gradient between the soil and plant (Rudawska, 2007).

Water stress may influence the growth of root systems and mycorrhizas. Moderate drought stimulates mycorrhiza formation and maintenance through stimulation of newly discovered terpenoid group of plant hormones known as strigolactones (Bahadur et al., 2017), but if drought is severe the mycorrhizal fine roots may die (Rudawska, 2007). Drought might affect mycorrhiza ability to promote the drought tolerance of host plants (Gehring et al., 2017). However, mycorrhizal fungi differ in efficiency of water-regulation mechanisms and tolerance to water deficit, which depends on the properties of the fungal mycelium (Rudawska, 2007).

Studies of plant species dually colonized with both ECM and AM fungi (such as members of *Salicaceae* and *Fagaceae*) showed that ECM fungi are more sensitive to drought than AM fungi (Gehring et al., 2017). It was recorded that higher soil moisture level favoured colonization of ECM fungi in some members of genus *Populus*. (Lodge, 1989; Gehring et al., 2006). Furthermore, in multiclonal plantations it was noted that colonization of poplars (*Populus* spp.) with ECM fungi was significantly affected by site while colonization with AM fungi depended on genotype (Katanić et al., 2014). On the other hand, for some AM fungi it was observed that they are more responsive to temperature. Namely it was observed at the global scale that the intensity of plant root colonization by AM fungi was strongly related to warm-season temperature (Soudzilovskaia et al., 2015). Moreover, AM fungi predominate in more arid areas (Swaty et al., 2016), which indicates that they better tolerate drought. Drought tolerance in plants inoculated with AM fungi may be explained by increased production and accumulation of the sugar trehalose ($C_{12}H_{22}O_{11}$) in plant cells. Trehalose forms a gel-like substance which stabilizes lipid bilayers in cell organelles. Thus, organelles remain intact during desiccation and can return to life under favourable environmental conditions (French, 2017).

Also, drought might affect the activity, abundance and species composition of AM and ECM fungi. Studying the seasonal variation of the ECM community in mature poplar plantation, Katanić (2013) found lower number of ECM types in summer and autumn, when moisture content in soil was lower. Different species of ECM fungi respond differently to changes in soil moisture. For example, it was recorded that *Cenococcum geophilum* Fr. ectomycorrhizas responded to the drought induced stress better than *Lactarius subdulcis* (Pers.) Gray ectomycorrhizas (di Pietro, 2007). Moreover, it was observed that both fungal species and genotypes could respond differently to changes in soil moisture even if they are in association with the same species of host plant (Gehring et al., 2017). Although drought tends to decrease plant biomass, mycorrhizal fungi can mitigate that negative effect by improving plant productivity and growth (Kivlin et al., 2013).

Effects of increased nitrogen deposition, soil acidification and pollutants on mycorrhizae – Učinci povećanog taloženja dušika, zakiseljavanja tla i zagađivača na mikorize

Concentration of nutrients in natural ecosystems is increasing through anthropogenic nutrient deposition via fertilization and pollution, as well as through increased microbial decomposition induced by soil warming. Climate change can affect the nitrogen cycle, and soil warming can impact on the availability of soil nutrients as well (Simard and Austin, 2010). Wet and dry deposition of nitrogenous compounds (NO_x and NH_x) can become a dominant source of nitrate (NO_3^-) in many natural ecosystems (Bellgard and Williams, 2011). Moreover, inputs of atmospheric ions as nitrate (NO_3^-) and sulphate (SO_4^{2-}) form acids that lower soil pH and consequently enhance mobility of many metals. According to some studies increased nitrogen deposition shown positive effects on aboveground plant productivity but negative impact on colonization of mycorrhizal fungi and the growth of the extraradical mycelium in both AM and ECM fungi. However, it was observed that generalist ECM fungal species which form a symbiosis with a wide range of plant species are less affected by increased N availability than specialist ECM species which form a symbiosis with a narrow range of plant species (Bellgard and Williams, 2011). If soil nutrient availability increases, plants invest less carbon into roots and development of mycorrhizas for nutrient uptake and allocate more carbon to aboveground parts.

The overall negative impact of increased N inputs on the ECM fungi might be also result of increased soil acidity (Simard and Austin, 2010; Bellgard and Williams, 2011). Different species of ECM fungi vary in their response to acidity of growth substrate. Although, most ECM fungi can grow on the pH range from 3.5 to 5.5, many fungal species

and strains are tolerant to high acidity and even some of them prefer lower pH (Rudawska, 2007). Thus, soil acidification can favour growth of ECM fungal species which are more tolerant to low pH in soil. If the individual species reproductive fitness is affected, a permanent shift in the diversity of ECM community will happen (Bellgard and Williams, 2011). At the end of 20th century in different regions of Europe with increased soil acidification was observed a decline of sporocarps production and ECM diversity in forest communities (Arnolds, 1991).

It is also known that ECM and AM fungi prefer soils with different pH values. ECM fungi are associated with the dominant, mostly tree species, and occupy soils that have high accumulations of organic surface litter and thus often lower pH values. Furthermore, these mycorrhizal fungi do not invade soils of high pH value and high buffering capacity. Where such soils are converted to intensive crop agriculture, AM associations will become dominant and ECM will be excluded. On the other hand, AM associations dominate in soils with neutral to relatively high pH, with high buffering capacity, which are immune to changes in the pH value. If these systems are disturbed, ECM fungi do not invade these soils, but AM fungi continue to dominate (Bellgard and Williams, 2011). Comparing the colonization level of roots with ECM, AM and dark septated endophytic fungi in poplars growing under different environmental conditions, at the site that was contaminated with pyrite tailings (FeS₂), heavy metals and had a low pH, Katanić et al. (2013) did not find structures of AM fungi while other fungal groups were present. These results are in accordance with previous results that AM fungi prefer soils with neutral or higher pH values.

Elevated concentrations of heavy metals in soil may have toxic effects on soil microorganisms and mycorrhizas of forest trees (Smith and Read, 2008). Heavy metals are accumulated in the organic layer of forest soils and can inhibit numerous soil processes which decrease decomposition and nutrient availability (Rudawska, 2007). Different species of mycorrhizal fungi and their strains are highly variable in the response to heavy metals in the growth medium (Rudawska, 2007). Heavy metals can detrimentally affect the formation and maintenance of ectomycorrhizas as well as its diversity on different tree species such as *Populus* spp. (Katanić et al., 2011; Katanić et al., 2015), *Salix* spp. (Regvar, 2010) and *Picea* spp. (Rudawska, 2007).

On the other hand, fungal partner in mycorrhizal symbiosis can prevent heavy metal transport from soil to the plant shoots. Response of mycorrhizas to heavy metals may be explained by various mechanisms of metal detoxification (Bellion et al., 2006; French, 2017). Metal ions may bind to compounds such as chitin, glomalin and melanin found in cell walls of fungal hyphae. The latter one is particularly

well-known for its ability to protect fungi from a variety of unfavourable environmental conditions. Further, mycorrhizal fungi can stimulate the biosynthesis of chelating agents such as phytochelatins and metallothioneins to bind the metal ions and decrease their toxicity. Also, metal ions can be deposited throughout the wall, cytoplasm, and vacuole of fungal cell. However, mechanisms of detoxification of heavy metals inside the fungal mycelium require carbon. Mycorrhizae may also change metabolism of host plants in order to respond to metal toxicity (Bellion et al., 2006; Rudawska, 2007; French, 2017). It was observed that fungi which produce the largest quantity of extraradical mycelium are most efficient in accumulation of heavy metals and provide the best protection for host plants (Smith and Read, 2008; Bojarczuk and Kieliszewska-Rokicka, 2010).

Elevated concentrations of ozone (O₃) may have detrimental effects on mycorrhizal colonization and diversity. Tropospheric ozone has been recognized as a damaging agent to plants. It triggers numerous physiological changes in plant organism which lead to decreased carbon allocation below-ground, thus affecting roots and indirectly root symbionts such as mycorrhizal fungi (Cudlin et al. 2007). However, the sensitivity to ozone differs between tree species and clones, experimental growth conditions, and between the age-related physiological differences within the same species. Root growth reductions induced by ozone might make rhizosphere organisms more susceptible to drought or nutrient deficiency, as well (Cudlin et al. 2007).

The decreased growth of roots and mycorrhizas might be an early indicator of the damaging impacts of ozone in some tree species, occurring prior to visible responses of aboveground parts (Cudlin et al., 2007; Rudawska, 2007; Katanić et al., 2014).

Effects of ecosystem fragmentation and habitat loss on mycorrhizae – Učinci fragmentacije ekosustava i gubitka staništa na mikorize

Climate change has a significant influence on the distribution of species as well. Fragmentation of natural land ecosystems is a result of colonization by humans and their domesticated animals. Habitat loss induced by the conversion of wildlands and forest ecosystems to agricultural lands threatens biodiversity and contributes to increasing of atmospheric CO₂. Ecosystem fragmentation directly impacts dispersal of mycorrhizal fungi therefore affecting their community structure. Changes in the abundance and distribution of host plants significantly impact viability, productivity, and efficiency of fungal partner. This is particularly important for these mycorrhizal fungi that are obligatory dependent on their partner such as AM fungi (Bellgard and Williams, 2011).

Effects of invasion of non-native mycorrhizal fungi, plants, pests, and diseases on mycorrhizae – *Učinci invazije alohtonih mikoriznih gljiva, biljaka i štetočina i bolesti na mikorize*

The introduction and spread of non-native and invasive species represent a great risk to stability of forest ecosystems. Climate change, visible as change of climatic, atmospheric, and edaphic conditions, enables competitive and invasive non-native species to extend their present distribution ranges and reduce domestic biodiversity. Also, climate change causes shifts of plant species into previously marginal habitats which induce attendant shift in distribution and abundance of mycorrhizal fungi in association with these invading plant species. Many shifts in spatial distribution of plant species are accelerated by human mediation through trans-continental transport. Humans can also facilitate the introduction of non-native plant pests and non-native plant diseases into native forests and wildland ecosystems. Introduction of invasive mycorrhizal fungi, invasive non-native plants and non-native plant diseases is detrimental to native host plants (Bellgard and Williams, 2011).

Researches have shown that inoculation of higher plant species with mycorrhizal fungi might reduce infections of pathogenic fungi and nematode infestations. This protection results from passive and active stimulation/modulation of plant secondary metabolism by AM fungi. Passively, AM fungal colonization stimulate host plants to produce and store highly potent defensive compounds such as alkaloids and terpenoids which are stored in trichomes and vacuoles and that can be released when attacked (Champagne and Boutry, 2016; French, 2017). On the other hand, fungal hyphae may react on pathogen in the surrounding environment and 'warn' host cells by producing special compounds which will be transmitted as signals throughout the host plant from cell to cell through the plasmodesmata (Zipfel and Oldroyd, 2017).

Mycorrhizal colonization triggers both plant's immune and defense systems, by triggering a primed state of plants resistance known as mycorrhiza-induced resistance (MIR). MIR improves holistic tolerance to attackers, either belowground by changing roots exudate metabolic composition in rhizosphere, or aboveground by alternation of volatile organic compounds (VOC) on shoot surface affecting allelopathic interaction by expressing repellent properties (López-Ráez et al., 2010). The phenomenon of priming could be defined as enhanced readiness of defense responses (Kim and Felton, 2013) and was described in plants with AM.

Different stimuli from pathogens, pests or chemicals can act as warning signals and trigger the establishment of priming. After perception of stimulus, changes may occur in the plant at the physiological, metabolic, transcriptional, and even epigenetic level (Avramidou, 2019). Upon subsequent pathogen

attack primed plants display faster and/or stronger activation of various cellular defense responses to biotic or abiotic stress which leads to increased resistance and/or tolerance (Maunch-Mani et al., 2017). Best described and understood metabolic pathways induced by AM fungi priming signaling involve jasmonic acid (JA) and salicylic acid (SA) pathways that are in general mutually antagonistic (Jung et al., 2012). Furthermore, beneficial effects of AM fungi and increased resistance to pests could be broaden to transgenerational level, so it could be transferred to progeny, conferring better protection from pathogen attack and general fitness compared to descendants of unprimed plants by generating immunological memory (Pastor et al., 2012). Thus, priming of defense allows plants to boost their innate immune system and offers a long-term adaptation to disease-conducive conditions.

MIR can mitigate both abiotic and biotic stress factors and modulate and orchestrate entire plants response to environmental stresses to a certain extent. With regard to bio-protective, biofertilizer and priming properties of mycorrhizal symbiosis, Fester and Sawers (2011) consider that focus of the future research should be investigation of mycorrhization of the soil as an possible alternative to chemical fertilizers and pesticides in sustainable management and conservation of natural ecosystems.

Role of mycorrhizas in forest stability under climate change – *Uloga mikoriza u stabilnosti šuma u uvjetima klimatskih promjena*

Mycorrhizas are one of essential components of forest ecosystem stability. Their most important role in climate change conditions may be in stabilizing effects on forests trees that are under increasing environmental stress. The importance of mycorrhizal fungi in the ecosystem function is increasingly recognized, including the role of mycorrhizal networks in forest regeneration, succession, and resistance against different stress factors. Such networks which connect plants of the same or different species can affect the physiological and ecological processes of plants by facilitating interplant nutrient exchange, acting as inoculum reservoirs for seedlings and altering plant competitive abilities, but also play a pivotal role in orchestration of multitrophic above- and belowground interactions (Selosse et al., 2006).

The most of young trees in forests are linked to large one, old and highly connected trees, which are important for forest regeneration. Moreover, the extensive mycorrhizal networks of large trees facilitate survival and growth of younger trees helping them to resist and cope with the stressful environmental conditions. Access to the mycorrhizal network not only improves seedling survival and physiology, but seedlings are colonized by a more complex fungal community and receive carbon, nutrients and water transferred from the older trees (Selosse et al., 2006; Simard and

Austin, 2010). At sites without mycorrhizal networks and mycorrhizal fungal propagules, survival and growth of seedlings could be reduced and artificial inoculation with mycorrhizal fungi might be helpful. However, advantage should be given to autochthonous species and strains of mycorrhizal fungi (Katanić et al., 2009).

Forest management has an important role in forest stability under unfavourable conditions such as climate change. Forest practices that favour fungal taxa that produce extensive mycorrhizal networks in order to increase soil aggregation and connectivity, or species that produce decay-resistant compounds are very welcome. Under current climate change and loss of biodiversity, close-to nature forestry must be a priority. Furthermore, it is of great importance to harmonize the interests of forestry, agriculture, and environmental protection (Orlović et al., 2014).

CONCLUSION ZAKLJUČAK

Mycorrhizas have an important role in forest ecosystems stability under climate change, by mitigating detrimental effects of different unfavourable factors as increased CO₂ in the atmosphere, temperature rise, drought, lack of nutrients, soil acidification, pollutants, pests, diseases, etc. Forest management in the context of climate change should be long term, sustainable, and based on natural principles.

ACKNOWLEDGEMENT

The study was financed by project 451-03-68/2020-14/200197 of the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia and by the Science Fund of the Republic of Serbia, PROMIS, GRANT No 6066613, MYCOCLIMART.

REFERENCES LITERATURA

- Arnolds, E., 1991: Decline of ectomycorrhizal fungi in Europe, *Agr Ecosyst Environ* 35, 2–3: 209–244.
- Avramidou E.V., 2019: Epigenetics vs Genetics: Unravelling the importance beyond the gene in natural forest populations Topola/Poplar, 203:31–35
- Bahadur, A., A Batool, F. Nasir, S. Jiang, Q. Mingsen, Q. Zhang, V. Feng, (2019). Mechanistic insights into arbuscular mycorrhizal fungi-mediated drought stress tolerance in plants, *Int. J. Mol. Sci.*, 20(17), 4199.
- Bellgard, S.E., S. E. Williams, 2011: Response of Mycorrhizal Diversity to Current Climatic Changes, *Diversity*, 3, 8–90.
- Bellion, M., M. Courbot, C. Jacob, D. Blaudez, M. Chalot, 2006: Extracellular and cellular mechanisms sustaining metal tolerance in ectomycorrhizal fungi, *FEMS Microbiol. Lett*, 254: 173–181.
- Bojarczuk, K., B. Kieliszewska-Rokicka, 2010: Effect of Ectomycorrhiza on Cu and Pb accumulation in leaves and roots of Silver birch (*Betula pendula* Roth.) seedlings grown in metal-contaminated soil, *Water Air Soil Pollut* 207: 227–240.
- Champagne, A., M. Boutry, 2016: Proteomics of terpenoid biosynthesis and secretion in trichomes of higher plant species, *Biochim. Biophys. Acta BBA* 1864, 1039–1049.
- Cudlin, P., B. Kieliszewska-Rokicka, M. Rudawska, T. Grebenc, P. Alberton, T. Lehto, M. R. Akker, I. Børja, B. Konopka, T. Leski, H. Kraigher, T. W. Kuyper, 2007: Fine roots and ectomycorrhizas as indicators of environmental change, *Plant. Biosystems* 141 (3): 406–425.
- di Pietro, M., J.-L. Churin, J. Garbaye, 2007: Differential ability of ectomycorrhizas to survive drying, *Mycorrhiza* (2007) 17:547–550.
- FAO 2006: Global forest resources assessment 2005. FAO Forestry Paper 147, Rome.
- Fester, T., R. Sawers, 2011: Progress and challenges in agricultural applications of arbuscular mycorrhizal fungi, *Crit rev plant sci*, 30(5), 459–470.
- French, K.E., 2017: Engineering Mycorrhizal Symbioses to Alter Plant Metabolism and Improve Crop Health, *Front. Microbiol.* 8:1403, 1–8.
- Gehring, C.A., R.C. Mueller, T.G. Whitham, 2006: Environmental and genetic effects on the formation of ectomycorrhizal and arbuscular mycorrhizal associations in cottonwoods, *Oecologia* 149, 158–164.
- Gehring, C.A., R.L. Swaty, R.J. Deckert, 2017: Mycorrhizas, Drought, and Host-Plant Mortality, *Mycorrhizal Mediation of Soil*, Elsevier, 279–298, Amsterdam
- Hobbie, E.A., R. Agerer (2010): Nitrogen isotopes in ectomycorrhizal sporocarps correspond to belowground exploration types, *Plant Soil* 327, 71–83.
- Houghton, R.A., 1988: The global carbon cycle (letter to the editor). *Science* 241, 1736
- IPCC 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)], IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. May 14, 2015
- Jung SC, A. Martinez-Medina, J. A. Lopez-Raez, M. J. Pozo, 2012: Mycorrhiza-induced resistance and priming of plant defenses, *J Chem Ecol.* 38(6):651–664.
- Katanić M., 2013: Diversity of mycorrhizal fungi of poplars (*Populus* spp.) [in Serbian], Dissertation, Faculty of Sciences, Novi Sad
- Katanić M., A. Pilipović, B. Kovačević, S. Pekeč, Z. Novčić, 2014: Influence of genotype and environment on poplar roots colonization with mycorrhizal and endophytic fungi, [in Serbian], *Topola/Poplar* 193/194: 97–107
- Katanić M., M. Marković, P. Pap, M. Zlatković, S. Pekeč, B. Kovačević, 2017: Biology and cultivation of truffles in the world and in Serbia [in Serbian], *Topola/Poplar*, 199/200: 175–190.
- Katanić M., S. Orlović, Z. Galić, B. Kovačević, H. Kraigher, 2009: Mycorrhization of poplars (*Populus* sp.). *Topola/Poplar* 183/184, 95–113.
- Katanić, M., B. Kovačević, N. Glowska, E. Paoletti, S. Vasić, M. Matavulj, H. Kraigher, 2013: Colonization of poplar roots with ectomycorrhizal, arbuscular mycorrhizal and dark septated endophytic fungi [in Serbian], *Topola/Poplar* 191/192: 17–29.
- Katanić, M., S. Orlović, T. Grebenc, B. Kovačević, M. Kebert, M. Matavulj, H. Kraigher, 2015: Mycorrhizal fungal community of poplars growing on pyrite tailings contaminated site near the river Timok, *SEEFOR* 6 (1):53–63
- Katanić, M., E. Paoletti, S. Orlović, T. Grebenc, H. Kraigher, 2014: Mycorrhizal status of an ozone sensitive poplar clone treated with the anti-ozonant ethylenediurea. *Eur. J. For. Res.*, 133: 735–743.

- Katanić M., S. Orlović, T. Grebenc, M. Bajc, Z. Galić, M. Kebert, H. Kraigher, 2011:
- Mycorrhizal fungus on poplars from a pyrite contaminated site In S. Orlović (ed), International Workshop „STREPOW“, Institute of Lowland Forestry and Environment, 313–320, Novi Sad
- Kim, J., G. W. Felton, 2013: Priming of antiherbivore defensive responses in plants, *Insect Sci.*, 20(3), 273–285.
- Kivlin, S. N., S. M. Emery, J.A. Rudgers, 2013: Fungal symbionts alter plant responses to global change, *Am. J. Bot.* 100, 1445–1457.
- Lilleskova, E.A., E. A. Hobbie., T. R. Horton, 2011: Conservation of ectomycorrhizal fungi: exploring the linkages between functional and taxonomic responses to anthropogenic N deposition, *Fungal ecol.* 4 174–183.
- Lodge, D. J., 1989: The influence of soil moisture and flooding on formation of VA-endo- and ectomycorrhizae in *Populus* and *Salix*, *Plant Soil* 117: 243–253
- López-Ráez, J. A., A. Verhage., I. Fernández, J. M. García, C. Azcón-Aguilar, V. Flors, M. J. Pozo, 2010: Hormonal and transcriptional profiles highlight common and differential host responses to arbuscular mycorrhizal fungi and the regulation of the oxylipin pathway, *J. Exp. Bot.* 61(10), 2589–2601.
- Mauch-Mani B, I. Baccelli, E. Luna, V. Flors 2017: Defense Priming: An Adaptive Part of Induced Resistance, *Annu Rev Plant Biol.* 68:485–512.
- Orlović S., M. Drekić, B. Matović, L. Poljaković-Pajnik, M. Stevanov, D. Stojanović, S. Stojnić, 2014: Serbian Forestry - achievement of millenium goals in the era of climate change and globalization, *Bulletin of the Faculty of Forestry*: 89–112.
- Pastor, V., E. Luna, B. Mauch-Mani, J. Ton, V. Flors 2013: Primed plants do not forget, *Environ Exp Bot.* 94, 46–56.
- Pendall, E., S. Bridgman, P.J. Hanson, B. Hungate, D.W. Klicklighter, D.W. Johnson, B.E. Law, Y. Luo, J. P. Megonigal, M. Olsrud, M.G. Ryan, S. Wan, 2004: Belowground process responses to elevated CO₂ and temperature: A discussion of observations, measurement methods, and models, *New Phytol* 62: 311–322.
- Pritchard, E. T. G., A. E. Strand, M.A. McCormack, M. A. Davis, A.C. Finzi, R.B., Jackson, M. Roser, H.H. Rogers, R. Oren, 2008: Fine root dynamics in a loblolly pine forest are influenced by free-air-CO₂-enrichment: a six-year-minirhizotron study, *Glob Chang Biol* 14: 1–15.
- Regvar M., M. Likar, A. Piltaver, N. Kugonić, J. E. Smith, 2010: Fungal community structure under goat willows (*Salix caprea* L.) growing at metal polluted site: the potential of screening in a model phytostabilisation study, *Plant Soil* 330: 345–356.
- Rudawska, M. L. 2007: Mycorrhiza, Biology and Ecology of Norway Spruce, Springer, 157–194, Dordrecht
- Selsos, M.-A., F. Richard, X. He, S.W. Simard, 2006: Mycorrhizal networks: les liaisons dangereuses?, *Trends Ecol. Evol* 21: 621–628.
- Simard, S., M. Austin, 2010: The Role of Mycorrhizas in Forest Soil Stability with Climate Change, *Climate Change and Variability*, IntechOpen, 275–302, Rijeka
- Simard, S.W., M.D. Jones, D.M. Durall, 2002: Carbon and nutrient fluxes within and between mycorrhizal plants, *Mycorrhizal Ecology*, Springer-Verlag, 33–61, Heidelberg
- Smith S.E., D.J. Read, 2008: Mycorrhizal symbiosis, Third edition, Elsevier Academic Press, 787pp., London
- Smith, S. E., E. Facelli, S. Pope, F.A. Smith, 2010: Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas, *Plant Soil* 326:3–20.
- Soudzilovskaia, N.A., J.C. Douma, A.A. Akhmetzhanova, P.M. van Bodegom, W.K. Cornwell, E.J. Moens, K.K. Treseder, M. Tibbett, Y.P. Wang, J.H.C. Cornelissen, 2015: Global patterns of plant root colonization intensity by mycorrhizal fungi explained by climate and soil chemistry, *Glob. Ecol. Biogeogr.* 24, 371–382.
- Staddon P.L., A. Heinemeyer, A.H. Fitter, 2002: Mycorrhizas and global environmental change: research at different scales, *Plant Soil* 244: 253–261.
- Stojanović, D. B., T. Levanić, B. Matović, S. Orlović, 2015: Growth decrease and mortality of oak floodplain forests as a response to change of water regime and climate, *Eur. J. For. Res.* 134, 555–567.
- Swaty, R., H.M. Michael, R. Deckert, C.A. Gehring, 2016: Mapping the potential mycorrhizal associations of the conterminous United States of America, *Fungal Ecol.* 19.
- Talbot, J.M., S.D. Allison, K.K. Treseder, 2008: Decomposers in disguise: mycorrhizal fungi as regulators of soil carbon dynamics in ecosystems under global change, *Funct. Ecol.* 22: 955–963.
- Terrer, C., S. Vicca, B.A. Hungate, R.P. Phillips, I.C. Prentice, 2016: Mycorrhizal association as a primary control of the CO₂ fertilization effect, *Science* 353, 72–74.
- Vuksanović V., B. Kovačević, S. Orlović, M. Kebert, M. Kovač, 2019: The influence of drought on growth and development of white poplar shoots *in vitro*, *Topola/Poplar*, 203:13–18
- Zipfel C. G.E. Oldroyd, 2017: Plant signalling in symbiosis and immunity, *Nature* 543(7645):328–336

SAŽETAK

Klimatske promjene koje su u tijeku, imaju višestruke učinke ne samo na metabolizam biljaka, već utječu i na svojstva tla i zajednicu mikoriznih gljiva. Pod utjecajem klimatskih promjena, stabilnost cjelokupnog šumskog ekosustava i ravnoteža ugljika ovise u velikoj mjeri o interakciji između drveća i mikoriznih gljiva. Pokretači klimatskih promjena su porast razine CO₂, porast temperature, promjene distribucije oborina, povećano taloženje dušika, zakiseljavanje tla i zagađivanje polutantima, fragmentacija ekosustava, gubitak staništa i širenje invazivnih organizama. Pokretači klimatskih promjena mogu izravno i neizravno utjecati na zajednicu mikoriznih gljiva. U radu je dan prikaz utjecaja svakog od navedenih pokretača na mikoriznu zajednicu i naglašeno da mikorize imaju važnu ulogu u otpornosti i oporavku šumskih ekosustava ublažavanjem štetnih učinaka porasta CO₂, porasta temperature, suše, nedostatka hranjivih sastojaka, zakiseljavanja tla, porasta zagađivača u tlu, štetočina i bolesti. Očuvanje cjelokupne biološke raznolikosti u šumskim ekosustavima kao i osiguranje što povoljnijih uvjeta za razvoj mikorize može doprinijeti povećanju otpornosti šumskih ekosustava na klimatske promjene.

KLJUČNE RIJEČI: mikorizne gljive, šumsko drveće, kolonizacija, porast CO₂, suša

ZELENA ŽUNA (*Picus viridis* L.)

Dr. sc. Krunoslav Arač, dipl. ing. šum.

Unutar vrste opisano je pet podvrsta od kojih su dvije rasprostranjene na području Hrvatske (*P. v. viridis* i u manjoj brojnosti *P. v. karelini*). Naraste u dužinu 30 - 36 cm s rasponom krila 45–51 cm te ima do 250 grama težine. Po veličini tijela možemo je usporediti s drozdovima. Spolovi su slični. Boja perja tijela odozgo je sivo zelena sa žuto zelenom trticom, a odozdo svijetlo žuto zelena. Na vrhovima krila letna pera su crno bijelo prošarana. Glava je na tjemenu i zatiljku crvena. Dio oko očiju je crn i na donjem dijelu se produžuje u brk. Mužjaka od ženke razlikujemo po brku koji je kod ženki crn, a kod mužjaka crven sa crnim rubovima. Perje kod mladih ptica je svijetlije, tamno pjegavo i bez naglašenog brka. Kljun je dug, snažan, ravan i šiljast. Noge su tamno sive, kratke, snažne s po dva prsta smještena prema naprijed i dva prsta prema natrag. Rep je četvrtast građen od krutih pera koje služe kao oslonac prilikom penjanja po stablu. Leti brzo, isprekidano u obliku valova, a po tlu se vješto kreće poskakivanjem. Glasa se snažno i prodorno, dok rijetko bubnja (za razliku od djetlića). Boravi na rubovima listopadnih šumskih predjela uz otvorena područja na kojima pronalazi hranu na tlu. Rasprostranjena je na području gotovo cijele Europe (osim krajnjeg sjevernog dijela, do juga Skandinavije). Gnjezdšte radi u duplji bez dodatno donesenog materijala. Ulazni otvor promjera je oko 6 x 7,5 cm, s unutrašnjom šupljinom duplje oko 15 cm i dubinom oko 40 cm. Gnijezdi od travnja do kolovoza. Nese 4 - 6 (8) bijelih jaja veličine oko 31 x 23 mm. Na jajima sjedi mužjak i ženka oko dva i pola tjedna. Mladunci su čučavci i o njima se brinu oba



Odrasla jedinka, ženka

roditelja oko tri tjedna u gnjezdštu i oko tjedan dana kada ga napuste. Hrani se najčešće sa svim razvojnim oblicima mrava (rodovi *Lasius* i *Formica*), te ostalim insektima i njihovim ličinkama koje uglavnom pronalazi na tlu, a vadi ih uz pomoć dugog (oko 10 cm) i ljepljivog jezika.

U Hrvatskoj je gnjezdarica i stanarica nižeg dijela Zagore, Istre i predjela unutrašnjosti. U planinskom području zabilježena je kao skitalica, a u priobalnom dijelu kao zimovalica u razdoblju od rujna do travnja. Postnatalna disperzija i zimske skitnje odvijaju se na udaljenostima do 25 km, rijetko na veće udaljenosti.

Zelena žuna je strogo zaštićena vrsta u Republici Hrvatskoj.

POPULARIZACIJA HRVATSKE FLORE KRALJEVSKA PAPRAT (*OSMUNDA REGALIS* L., *OSMUNDACEAE*)

Prof. dr. sc. Jozo Franjić

(= *Aphyllocalpa regalis* /L./ Lag., D. García et Clemente, A. *regalis* Cav., O. *longifolia* /C. Presl/ A. E. Bobrov, O. *mexicana* Fée, O. *obtusifolia* Kaulf., O. *palmeri* A. E. Bobrov, O. *palustris* Schrad., O. *schelpei* A. E. Bobrov, O. *spectabilis* Willd., O. *transvaalensis* A. E. Bobrov, *Ophioglossum osmunda* Stokes, *Struthiopteris regalis* /L./ Bernh., S. *regalis* Bernh.)

(= kraljevski pujanik, pujanik)

(= engl. Royal Fern, Flowering Fern, Regal Fern; njem. Königsfarn; fr. Fougere Royale; tal. Felce florida, Osmunda regale)

Kraljevska je paprat gotovo kozmopolit, ali mjestimično izostaje na velikom području. Za područje Hrvatske je



Slika 1. Rasprostranjenost kraljevske paprati (*Osmunda regalis* L.) u Hrvatskoj (Nikolić 2020).

vrlo rijetka, a zabilježena je u okolici Karlovca, Vojnića, Duge Rese, Krašića, Lekenika i Popovače (usp. sl. 1). Najčešće nastanjuje vlažna, sjenovita mjesta u šumama i šikarama, uz vodu, podvirna i cretna tla u nižem vegetacijskom pojasu. Pripada biljkama cirkumholarktičke rasprostranjenosti.

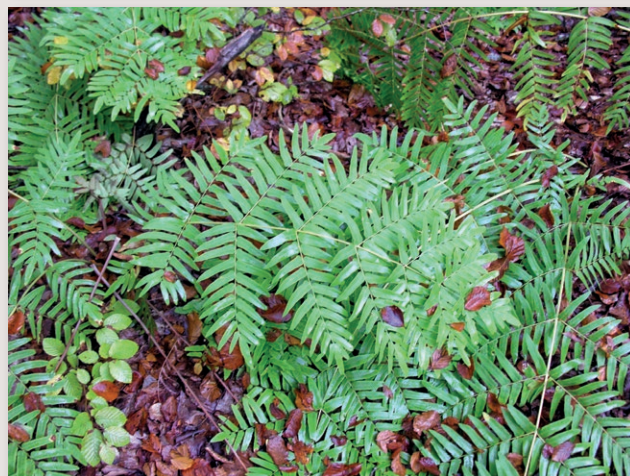
Rizom je podzeman i iz njega se svake godine razvija nekoliko listova dugih 50-150 cm. Peteljka je kraća od cjelokupne plojke, pri dnu je promjera do 10 mm, a u gornjem dijelu do 6 mm i smeđežuta. Cjelokupna je plojka jajasta do duguljasto-jajasta i dvostruko perasto sastavljena. Donji i srednji parovi isperaka prvoga reda su sterilni i zeleni, s duguljastim, do 8 mm dugim, pri dnu koso odrezanim ispercima drugoga reda koji su na vrhu najčešće tupi, pri dnu nerijetko plitko krpasto urezani, na rubu cijeli ili, posebice u gornjem dijelu, vrlo sitno nazubljeni, rjeđe jače nazubljeni. Gornji isperci lista su fertilni, znatno kraći od donjih koji su sterilni. Njihovi stegnuti i metamorfozirani isperci drugoga reda gusto su pokriveni smeđim sporangijima. Zrele spore su zelene.

Kraljevska je paprat trajnica, hemikriptofit-geofit, helomorfno-mezomorfna, ljekovita, anemofilna i anemohorna vrsta. Rasplodni organi pojavljuju se u VI. i VII. mjesecu. U Hrvatskoj je strogo zaštićena.

Osim tipičnoga var. *regalis* (= *O. r. l. f. typical* Lueress.) u kojega ogranci sekundarnih žila završavaju u udubinama među zupcima poznat je i var. *acuminata* Milde, u kojega ogranci sekundarnih žila završavaju u zupcima.

LITERATURA

- Franjić, J., Ž. Škvorc, 2014: Šumsko zeljasto bilje Hrvatske. Sveučilište u Zagrebu – Šumarski fakultet, 626 str. Zagreb.
- Nikolić, T. (ur.), 2020: Rasprostranjenost *Osmunda regalis* L. u Hrvatskoj, Flora Croatica baza podataka (<http://hirc.botanic.hr/fcd>). Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu (datum pristupa: 3. 3. 2020.).



Slika 2-5. Kraljevska paprat (*Osmunda regalis* L.).

UGROŽENE NACIONALNE DIVLJE ŽIVOTINJE

Ivo Ašćić, dipl. ing.

Iako planet Zemlja ima veliku raznolikost životinja, biljaka i staništa, ipak je puno životinjskih vrsta koje su izumrle ili im ono prijeto. Razlog je najčešće uništavanje staništa (djelovanjem prirode ili čovjeka: rast urbanih naselja, ceste, krčenje šuma i sl.), pretjerana eksploatacija (npr. lov), unošenje životinjskih vrsta na područja koja se nalaze izvan njihove utvrđene raširenosti (npr. naseljavanje mungosa na otok Mljet 1910. radi uništavanja otrovnih zmija imalo je za posljedicu nekontrolirano razmnožavanje i uništavanje mnogih vrsta manjih životinja), klimatske promjene, onečišćenje tla i zraka i dr.

Temeljni kriteriji prema kojima se određuje ugroženost životinjskih vrsta je broj poznatih nalazišta, površina rasprostranjenosti, te veličina populacije spolno zrelih plodnih jedinki. Nažalost, broj ugroženih životinja kojima prijeto izumiranje je velik pa se u članku autor osvrće samo na pojedine vrste koje uglavnom provode veći dio života u šumi, ili u njoj uglavnom pronalaze hranu.

Iako se europski kontinent može pohvaliti velikom bioraznolikošću na vrlo malom prostoru, ipak je danas ugrožena gotovo polovica europskih sisavaca i trećina gmazova, ribljih i ptičjih vrsta. Najvrjednija europska staništa za divlje životinje zaštićena su zakonom, ali su mnoga u lošem stanju i potrebno ih je obnoviti. U zaštitu ugroženih životinjskih vrsta, na poticaj Europske udruge javnih poštanskih operatora (PostEurop), ove godine uključilo se pedesetak europskih izdavača maraka, tiskanjem jedne ili više maraka na temu ugrožene nacionalne divlje životinje (engl. Endangered National

Wildlife): smeđi medvjed (*Ursus arctos*), Euroazijski ili obični ris (*Lynx lynx*), tetrijeb gluhan (*Tetrao urogallus*), patuljasti miš (*Micromys minutus*), obični jelen (*Cervus elaphus*), lasica (*Mustela nivalis*), europski hrčak (*Cricetus cricetus*), šareni tvor (*Vormela peregusna*), sokol vjetruša (*Falco tinnunculus*) i druge. Zanimljivo je kako spomenuta udruga na svojim internetskim stranicama organizira izbor najljepše marke na istu temu.

U prilog zaštite ugroženih životinjskih vrsta ide i Konvencija o zaštiti europskih divljih vrsta i prirodnih staništa tzv. Bernska konvencija iz 1979. godine (u Hrvatskoj stupila na snagu 2000.). Ona je obvezujući međunarodni pravni instrument u području zaštite prirode koji pokriva prirodnu baštinu europskog kontinenta i nekih država Afrike. Ima za cilj očuvati divlje životinje i biljke, njihova prirodna staništa te poticati europsku suradnju na tom polju, a poseban naglasak stavlja se na potrebu zaštite ugroženih staništa i osjetljivih vrsta, uključujući migratorne vrste. U Konvenciji se između ostalog novode i zabranjena sredstva i načini ubijanja, hvatanja i drugih oblika iskorištavanja, npr. lov ptica putem udica, slatkovodnih riba uz pomoć eksploziva, sisavaca korištenjem umjetnih svijetlećih naprava i sl.

Prema Međunarodnoj uniji za očuvanje prirode i prirodnih bogatstava (engl. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, IUCN), 2007. na tzv. Crvenom popisu nalazilo se preko 16300 ugroženih vrsta



Slika 1. Životinjska vrsta smatra se ugroženom ako joj je populacija tako malena da joj prijeto izumiranje



Slika 2. Podizanje svijesti o gospodarenju otpadom COVID-19 važna je za život svih stanovnika planeta Zemlja



Slika 3. Prema podacima IUCN-a čak polovici europskih šuma prijeto nestanak unatoč razvijenom zakonodavstvu, posebice na području Europske unije



Slika 4. Ugrožena šumska koka tetrijeb gluhan živi u miješanim i crnogoričnim šumama vršnih dijelova planine iznad 1000 metara nadmorske visine

ili 9,6 posto od ukupne populacije sisavaca. Prema istom izvoru čak 52 posto europskih šuma, u kojima obitavaju divlje životinje, u opasnosti je od nestanka. Glavna su im prijetnja invazivne i problematične vrste, ali i devastacija od poljodjelstva i urbane izgradnje u borbi za tlo i alternativnu uporabu šumskoga zemljišta, te od urbanizam, klimatski utjecaj i bolesti kojima je izložena šumska vegetacija. Najveći izazov za opstanak životinjskih vrsta je današnji svijet koji se brzo mijenja. Životinjama treba ljudska pomoć, pružimo im priliku, a oni će se pomoću svoje domišljate snage i vještine prilagođavanja učiniti ostalo.



Slika 5. Zbog stalnog trenda opadanja brojnosti, ris je u Hrvatskoj kritično ugrožena i strogo zaštićena vrsta



Slika 6. Šest od osam medvjedih vrsta je na samom rubu izumiranja

Slika 7. I najmanje državice na svijetu, poput Vatikana, redovito se uključuju u očuvanju bioraznolikosti



U Hrvaskoj, zaštićenim i strogo zaštićenim životinjskim vrstama smatraju se sve zavičajne divlje vrste koje su ugrožene ili su usko rasprostranjeni endemi ili pak sve ostale divlje vrste zaštićene propisima Europske unije. Najpoznatiji od njih, koji nisu spomenuti u članku su: bjeloglavi sup (*Gyps indicus*) kojih prema procjenama u Hrvatskoj ima oko 85 parova; leptir močvarni plavac (*Phengaris alcon alcon*) rasprostranjena je na vlažnim livadama, a ugrožen je između ostalog i zbog zarastanja ili isušivanja vlažnih livada; Orao kliktaš (*Aquila pomarina*) obitava oko poplavnog područja rijeke Save, a zabilježen je samo jedan par na području RH.

Otkako je COVID-19, akutna virusna bolest uzrokovana koronavirusom SARS-CoV-2 ušla u naš život i sve preokrenula, postoji mnogo otvorenih područja protiv kojih se svjetsko stanovništvo mora boriti. Jedno od njih, ali jednako važno za budućnost i opstanak životinjskih vrsta je i gospodarenje otpadom, nastalo kao posljedica ove situacije. Kad god je to moguće, poruka je ovogodišnje španjolske marke "Gospodarenje otpadom nastalim od Covid – 19", upotrijebiti maske, rukavice i druga zaštitna sredstva za višekratnu uporabu i, iznad svega, odložiti ih u spremnike namijenjene za recikliranje ili uništavanje od strane specijaliziranih tvrtki.



Slika 8. Životinjske vrste uvelike ovise o šumama koja se svake godine uništi za površinu kakvu ima Grčka

ZNANSTVENI PROJEKT PHENOINTER – PROJEKTNIA IDEJA I OČEKIVANI REZULTATI

Doc. dr. sc. Krunoslav Sever



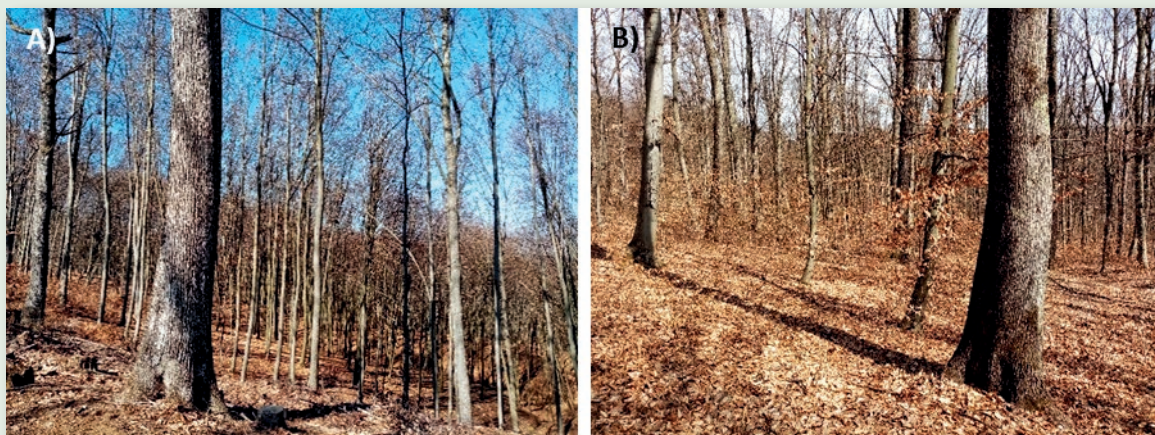
Početkom 2021. godine Fakultet šumarstva i drvne tehnologije potpisao je ugovor sa Hrvatskom zakladom za znanost o realizaciji četverogodišnjeg znanstvenog projekta „Fenotipski odgovor provenijencija obične bukve i hrasta kitnjaka na dugotrajnu sušu u interakciji s različitom koncentracijom fosfora u tlu – PhenoInter“.

U posljednje vrijeme znanstvena zajednica sve više pozornosti posvećuje istraživanju ishrane šumskoga drveća s fosforom (P). Zbog toga što pod utjecajem zakiseljavanja šumskih tala, povećanih atmosferskih depozicija dušika i klimatskih promjena u posljednjih 20-ak godina na području čitave Europe dolazi do ometanja uredne ishrane šumskoga drveća s P. Takav trend ubrzo bi mogao rezultirati opadanjem koncentracije P u lišću šumskoga drveća ispod granične vrijednosti njegove optimalne ishranjenosti. To bi moglo imati negativan utjecaj na cijeli niz fizioloških procesa kod šumskoga drveća i umanjiti njegovu sposobnost uspješnog odupiranja sušnom stresu, koji je u Europskim šumskim ekosustavima sve češće prisutan. Općenito gledano, uloga P u metabolizmu biljaka, odnosno njegova uloga u ublažavanju negativnih posljedica sušnoga stresa do sada je uglavnom istraživana na poljoprivrednim usjevima. U usporedbi s poljoprivrednim usjevima (jednogodišnjim biljkama) usvajanje mineralnih hraniva, njihova uporaba i recikliranje kod drveća je mnogo kompleksnije, zbog njegove dugovječnosti, skladištenja mineralnih hraniva i sezonske remobilizacije uskladištenih hraniva. Rezultati relativno rijetkih i nedavno objavljenih istraživanja provedenih na šumskom drveću ukazuju da dobra ishranjenost s P može unaprijediti učinkovitost antioksidativnog mehanizma i ublažiti negativan utjecaj sušnoga stresa na asimilaciju CO₂, što se u konačnici pozitivno odražava na ukupnu produkciju njegove biomase. Od svih europskih vrsta šumskoga drveća, u kontekstu ishranjenosti s P obična bukva je najbolje istražena. Stoga, broj publiciranih rezultata o ishranjenosti s P i ulozi P u metabolizmu obične bukve daleko je veći u odnosu na hrast kitnjak i ostale vrste s kojima dijeli stanište. Uz to, većina dosadašnjih istraživa-

nja uglavnom su razmatrala odgovor vrste na različit sadržaj P u tlu njezinih prirodnih staništa, bez razmatranja interakcije sa sušom, kao niti eventualnog postojanja unutarvrstnih (genetski uvjetovanih) razlika tj. interakcije različitih provenijencija izloženih sušnom stresu s različitim koncentracijama P u tlu. Ishranjenost šumskoga drveća s P uvelike ovisi o koncentraciji lakopristupačnog P u organskom i mineralnom dijelu tla, što može značajno varirati u ovisnosti o njegovim kemijskim, fizikalnim i/ili mehaničkim značajkama. Na području svog prirodnog rasprostiranja obična bukva i hrast kitnjak pridolaze na cijelom spektru različitih tipova tala koja se odlikuju različitim koncentracijama P u organskom sloju tla iz kojega šumsko drveće usvaja većinu P. Prema tome, trenutno nije moguće sasvim pouzdano predvidjeti kako bi dugotrajna sušna razdoblja u interakciji s različitom koncentracijom P u tlu mogla utjecati na fiziološku konstituciju različitih provenijencija obične bukve i hrasta kitnjaka, odnosno na njihov međuođnos u njihovom zajedničkim staništima. Ciljevi PhenoInter projekta su:

- ispitati utjecaja povišene koncentracije P u tlu na toleranciju obične bukve i hrasta kitnjaka prema sušnom stresu,
- ispitati utjecaj lokalne adaptiranosti provenijencija obične bukve i hrasta kitnjaka na sušni stres te genotipskih razlika u njihovoj toleranciji na sušu pod utjecajem povišene koncentracije P u tlu,
- ispitati utjecaja povišene koncentracije P u tlu na „memoriju“ sušnoga stresa kod obične bukve i hrasta kitnjaka.

Članovi istraživačke grupe koju čini šest znanstvenika sa Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije i jedan znanstvenik sa Agronomskog fakulteta, Sveučilišta u Zagrebu, započeli su aktivnosti vezane uz osnivanje pokusnog nasada. Početkom ožujka 2021. godine osnovali su pokusni nasad s pomlatkom obične bukve i hrasta kitnjaka porijeklom iz dviju zrelih prirodnih mješovitih sastojina; jedne s područja UŠP Karlovac (Šumarija Karlovac), a druge s područja UŠP Nova Gradiška (Šumarija Slavonski Brod), (Slika 1). S obzirom na uvjete vlažnosti odabrane sastojine pridolaze na kontrastnim staništima. Sastojina s područja Karlovca predstavlja vlažnu provenijenciju, čije stanište definira godišnja količina oborina od 1036 mm (od toga u vegetacijskom razdoblju 507 mm) te sjeverna do sjevero-



Slika 1. Izgled odabranih mješovitih sastojina obične bukve i hrasta kitnjaka, s područja šumarije Krlovac (prikaz A) i Slavonski Brod (prikaz B), s čijim pomlatkom je osnovan pokusni nasad



Slika 2. Pokusni nasad osnovan u četiri drvena sanduka (prikaz A) s pomlatkom obične bukve i hrasta kitnjaka (prikaz B).

istočna ekspozicija. S druge strane, sastojina s područja Slavenskog Broda predstavlja nešto sušu provenijenciju, čije stanište definira godišnja količina oborina od 808 mm (od toga u vegetacijskom razdoblju 424 mm) te južna do jugoistočna ekspozicija. Prilikom vađenja pomlaka u odabranim sastojinama obavljeno je uzorkovanje tla s ciljem utvrđivanja njegovih kemijskih značaki. Nakon laboratorijske obrade prikupljenih uzoraka utvrđeno je da između kemijskih značaki tla odabranih provenijencija nema značajnijih razlika. U tlima obiju provenijencija pH reakcija tla iznosila je oko 5, koncentracija humusa oko 2,9 %, a ukupnog dušika oko 0,16 %, koncentracija fiziološki aktivnog P iznosila je oko 0,57 mg/100 g tla, a fiziološki aktivnog kalija oko 10,70 mg/100 g tla.

Nakon što je izvađen iz prirodnih sastojina pomladak je transportiran u Zagreb i presađen u četiri drvena sanduka od kojih je svaki bio prethodno ispunjen sa 4000 L supstrata za uzgoj biljaka (Slika 2). U svaki sanduk posađeno je ukupno 100 biljaka, od toga po 25 biljaka obične bukve i hrasta kitnjaka porijeklom iz vlažne provenijencije (Karlovac), odnosno 25 biljaka obične bukve i hrasta kitnjaka porijeklom iz sušne provenijencije (Slavonski Brod). S obzirom da se odabrani supstrat (Klasmann TS 3 koji je obogaćen s

glinom) odlikuje niskom do srednjom opskrbljenošću s P (0,16 g P_2O_5 /l supstrata) u dva od ukupno četiri sanduka koncentracija lakopristupačnog P (P_2O_5) podignuta je do razine bogate opskrbljenosti s fosforom (0,30 g P_2O_5 /l supstrata). To je obavljeno dodavanjem 1200 g mineralnog gnojiva Triplex (45 % P_2O_5) u svaki sanduk koji je ispunjen s 4000 L supstrata. S obzirom na to, tijekom vegetacijskoga razdoblja 2021. godine jedna polovica presađenih biljaka rast će pod utjecajem niske koncentracije P (tretman -P), a druga polovica pod utjecajem visoke koncentracije P (tretman +P) u supstratu. Cilj takvog tretiranja je izazvati različitu razinu ishranjenosti biljaka s P do početka vegetacijskoga razdoblja 2022. godine kada se planira započeti njihovo dodatno tretiranje sa dva različita režima vlaženja supstrata. Prije početka tretiranja biljaka s različitim režimima vlaženja sva četiri sanduka bit će natkrivena s prozirnim PVC pokrovom radi što učinkovijeg kontroliranja vlažnosti supstrata, odnosno sprječavanja njegova natapanja s prirodnim oborinama. Prvi režim vlaženja, kojemu će biti podvrgnuta dva sanduka (jedan sa visokom, a drugi sa niskom koncentracijom P), podrazumijeva redovito zaljevanje s ciljem sprječavanja razvoja sušnoga stresa kod biljaka koje u njima rastu (tretman W). Drugi režim vlaže-

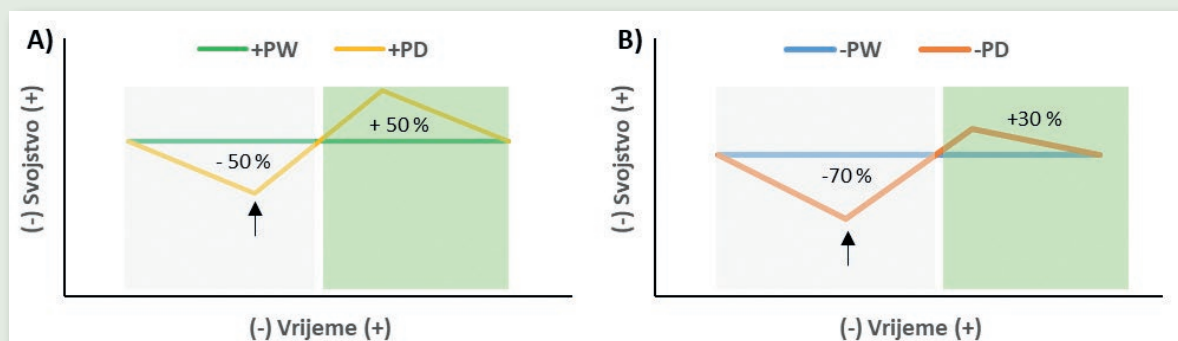
nja, kojemu će biti podvrgnuta druga dva sanduka (jedan s visokom, a drugi s niskom koncentracijom P), podrazumijeva povremeno zaljevanje s manjom količinom vode s ciljem poticanja razvoja sušnoga stresa kod biljaka koje u njima rastu (tretman D). Prema opisanom dizajnu pokusa svaki sanduk predstavlja jedan od ukupno četiri različita tretmana; visoka koncentracija P uz visoku vlažnost supstrata (+PW tretman), visoka koncentracija P uz nisku vlažnost supstrata (+PD tretman), niska koncentracija P uz visoku vlažnost supstrata (-PW tretman) i niska koncentracija P uz nisku vlažnost supstrata (-PD tretman). Vlažnost supstrata u svim tretmanima, odnosno razina ostvarenog sušnog stresa (u +PD i -PD tretmanima) kontrolirat će se pomoću senzora za mjerenje matriksnog tlaka (potencijala) vlege tla povezanih s pripadajućim procesorima za bilježenje podataka. Senzori i procesori svakih osam sati bilježit će potencijal vlage supstrata koji će biti izražen u kPa, što bi trebalo osigurati precizno praćenje dostupnosti vode za biljke u realnom vremenu unutar sva četiri tretmana istovremeno. Vlažnost supstrata pri potencijalu vlage 33 – 625 kPa trebala bi ukazivati na količinu vode u supstratu koja je biljkama lakopristupačna, a pri potencijalu vlage od 625 – 1500 kPa na količinu vode u supstratu koja kod biljaka izaziva sušni stres.

Tijekom 2022. godine na mladim biljkama obične bukve i hrasta kitnjaka pod utjecajem prethodno opisanih tretmana pratit će se cijeli niz fizioloških i morfoloških svojstava. Uključujući vodni potencijal u lišću, stopu neto fotosinteze, provodljivost puči za H_2O i CO_2 , fluorescenciju klorofila *a*, koncentraciju fotosintetskih pigmenta te makro i mikro elemenata u lišću, koncentraciju ukupnog i anorganskog fosfora u lišću, stabiljici i korijenju, koncentraciju vodikova peroksida, ukupnih askorbata i njihovo redoks stanje te aktivnost dehidroaskorbat reduktaze (fiziološka svojstva), odnosno proljetnu i jesensku fenologiju,

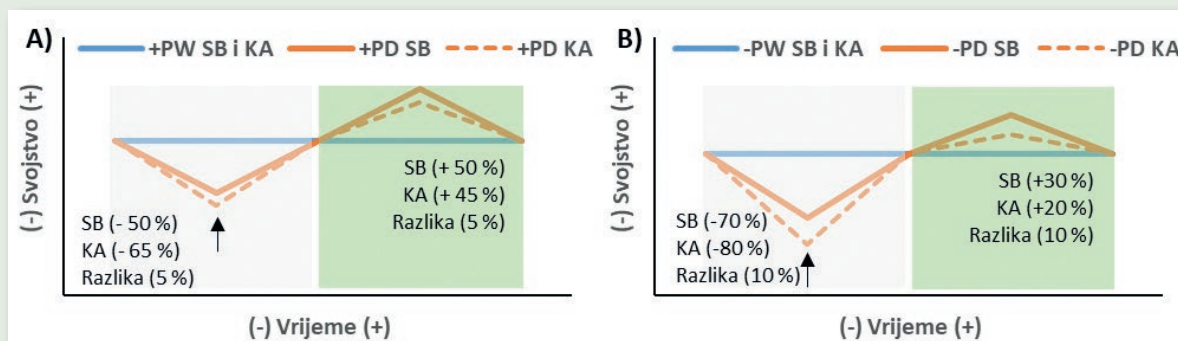
visinski i debljinski prirast te produkciju podzemne i nadzemne biomase (morfološka svojstva). Izmjere navedenih svojstava obavljat će se periodično tijekom cijelog vegetacijskog razdoblja, svakih 15 dana. U tretmanima +PD i -PD biljke će biti izložene suši u razdoblju od potpunog razvoja lišća na svim biljkama (poprilici sredina svibnja) do sredine ljeta (poprilici kraj srpnja) nakon čega će uslijediti njihovo ponovno zaljevanje s jednakom količinom vode s kojom se zaljevaju biljke iz tretmana +PW i -PW, što će potrajati do kraja vegetacijskoga razdoblja (poprilici kraj listopada). Na taj način bit će moguće usporediti odgovor fizioloških i morfoloških svojstava obične bukve i hrasta kitnjaka iz +PD i -PD tretmana u odnosu na +PW i -PW tretmane tijekom sušnog razdoblja (od sredine svibnja do kraja srpnja) i post-sušnog razdoblja (od kraja srpnja do kraja listopada). Takav dizajn pokusa trebao bi osigurati kompletan uvid u način prilagodbe hrasta kitnjaka i obične bukve na sušni stres, uključujući ulogu njihove lokalne prilagodbe na različitu vlažnost njihova prirodnog staništa u interakciji s različitim ishranjenosti s P.

Nakon obrade podataka prikupljenih tijekom 2022. godine očekuje se da bi viša u odnosu na nižu koncentraciju P u supstratu mogla ublažiti negativan utjecaj sušnoga stresa na fiziološka i morfološka svojstva istraživanih biljaka (bez obzira na vrstu i/ili provenijenciju) tijekom sušnoga razdoblja. Isto tako, viša u odnosu na nižu koncentraciju P u supstratu mogla bi imati pozitivan utjecaj na brzinu oporavka fizioloških i morfoloških svojstava istraživanih biljaka nedugo nakon popuštanja sušnoga stresa te dodatno stimulirati fiziološke procese tijekom post-sušnog razdoblja, što bi trebalo rezultirati uspješnijom nadoknadom izgubljenog prirasta i/ili ukupne biomase tijekom prethodnog sušnog razdoblja (Slika 3).

Isto tako očekuje se da bi sušna (Slavonski Brod) u odnosu na vlažnu (Karlovac) provenijenciju (bez obzira na vrstu)



Slika 3. Shematski prikaz očekivanog odgovora fizioloških i/ili morfoloških svojstava istraživanih biljaka na sušu tijekom sušnog limitirajućeg razdoblja i razdoblja oporavka (sivi poligoni) te tijekom post-sušnog stimulirajućeg razdoblja (zeleni poligoni) nakon ponovnog zaljevanja pri visokoj (prikaz A) i niskoj (prikaz B) koncentraciji fosfora u supstratu. Strelice označavaju početak ponovnog zaljevanja, nakon čega bi trebao započeti oporavak fizioloških i/ili morfoloških svojstava istraživanih biljaka. Negativan utjecaj suše i pozitivan utjecaj naknadnog zaljevanja izražen je u relativnim vrijednostima kao kumulativna razlika kvantificiranih fizioloških i/ili morfoloških svojstava između visoke (W) i niske (D) vlažnosti supstrata u interakciji s visokom (+P) i niskom (-P) koncentracijom fosfora u supstratu. Pri visokoj koncentraciji fosfora u supstratu negativan utjecaj suše na fiziološka i/ili morfološka svojstva tijekom sušnog limitirajućeg razdoblja i razdoblja oporavka mogao bi biti manje izražen (-50 %) u odnosu na nisku koncentraciju fosfora u supstratu (-70 %). S druge strane, oporavak fizioloških i/ili morfoloških svojstava tijekom post-sušnog limitirajućeg razdoblja mogao bi biti uspješniji pri visokoj (+50 %) u odnosu na nisku koncentraciju fosfora u supstratu (+30 %).

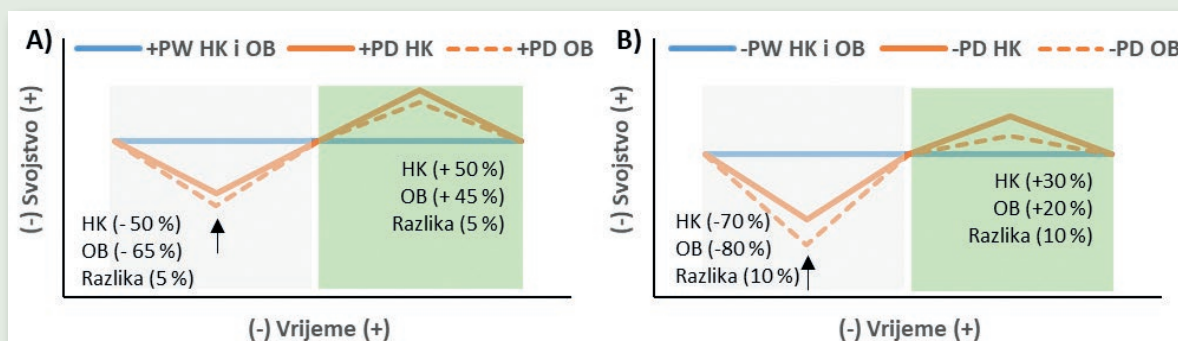


Slika 4. Shematski prikaz očekivanog odgovora fizioloških i/ili morfoloških svojstava istraživanih biljaka porijeklom iz sušne provenijencije Slavonki Brod (SB) i vlažne provenijencije Karlovac (KA) na sušu tijekom sušnog limitirajućeg razdoblja i razdoblja oporavka (sivi poligoni) te tijekom post-sušnog stimulirajućeg razdoblja (zeleni poligoni) nakon ponovnog zalijevanja pri visokoj (prikaz A) i niskoj (prikaz B) koncentraciji fosfora u supstratu. Strelice označavaju početak ponovnog zalijevanja, nakon čega bi trebao započeti oporavak fizioloških i/ili morfoloških svojstava istraživanih biljaka. Negativan utjecaj suše i pozitivan utjecaj naknadnog zalijevanja izražen je u relativnim vrijednostima kao kumulativna razlika kvantificiranih fizioloških i/ili morfoloških svojstava između visoke (W) i niske (D) vlažnosti supstrata u interakciji s visokom (+P) i niskom (-P) koncentracijom fosfora u supstratu za svaku provenijenciju posebno. Pri visokoj koncentraciji fosfora u supstratu razlika u negativnom utjecaju suše na fiziološka i/ili morfološka svojstva sušne i vlažne provenijencije tijekom sušnog limitirajućeg razdoblja i razdoblja oporavka mogla bi biti manje izražena (5 %) u odnosu na nisku koncentraciju fosfora u supstratu (10 %). S druge strane, razlika u oporavku fizioloških i/ili morfoloških svojstava tijekom post sušnog limitirajućeg razdoblja također bi mogla biti manje izražena pri visokoj (5 %) u odnosu na nisku koncentraciju fosfora u supstratu (10 %) između sušne i vlažne provenijencije.

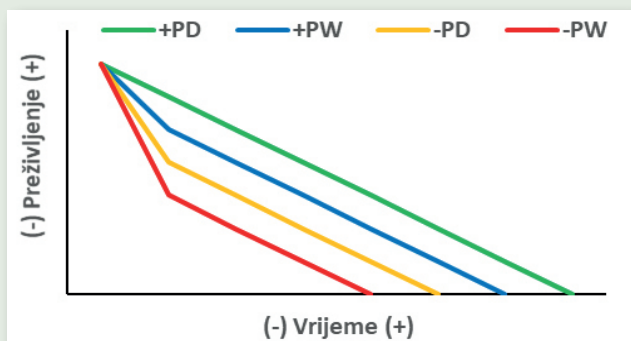
zbog svoje lokalne prilagodbe na nešto suše stanište trebala učinkovitije odoljevati negativnom utjecaju dugotrajne suše, te se bolje oporavljati nakon popuštanja suše. Međutim povišena koncentracija P u supstratu mogla bi ublažiti negativan utjecaj suše na vlažnu provenijenciju i na taj način do određene mjere ujednačiti cjelokupan odgovor vlažne i sušne provenijencije na dugotrajnu sušu (Slika 4).

Pod utjecajem povišene koncentracije P u supstratu (bez obzira na provenijenciju) obična bukva mogla bi podići svoju toleranciju na sušu, što bi trebalo pozitivno utjecati na njezinu konkurentnost prema hrastu kitnjaku koji se zbog dubljeg zakorijenjivanja i kserofilne strukture lišća u odnosu na običnu bukvu smatra otpornijim na sušu (Slika 5).

Tijekom 2023. godine praćenje već spomenutih fizioloških i morfoloških svojstava na istraživanim biljkama bit će nastavljeno s ciljem ispitivanja utjecaja povišene koncentracije P u supstratu na njihovu „memoriju“ sušnoga stresa koji su iskusile tijekom prethodne 2022. godine. Novija znanstvena istraživanja dokazala su da biljke mogu memorirati iskustvo ranije pretrpjenog sušnoga stresa. To je usko povezano s relativno brzim promjenama njihovih biokemijskih procesa povezanih s epigenetskim promjenama potaknutih naknadnim sušnim stresom, što se u konačnici pozitivno odražava na njihova fiziološka i morfološka svojstva s ciljem što uspješnijeg podnošenja i/ili izbjegavanja ponovljenog stresa. Kako bi dokazali mogućnost memori-



Slika 5. Shematski prikaz očekivanog odgovora fizioloških i/ili morfoloških svojstava hrasta kitnjaka (HK) i obične bukve (OB) na sušu tijekom sušnog limitirajućeg razdoblja i razdoblja oporavka (sivi poligoni) te tijekom post-sušnog stimulirajućeg razdoblja (zeleni poligoni) nakon ponovnog zalijevanja pri visokoj (prikaz A) i niskoj (prikaz B) koncentraciji fosfora u supstratu. Strelice označavaju početak ponovnog zalijevanja, nakon čega bi trebao započeti oporavak fizioloških i/ili morfoloških svojstava istraživanih biljaka. Negativan utjecaj suše i pozitivan utjecaj naknadnog zalijevanja izražen je u relativnim vrijednostima kao kumulativna razlika kvantificiranih fizioloških i/ili morfoloških svojstava između visoke (W) i niske (D) vlažnosti supstrata u interakciji s visokom (+P) i niskom (-P) koncentracijom fosfora u supstratu za svaku vrstu posebno. Pri visokoj koncentraciji fosfora u supstratu razlika u negativnom utjecaju suše na fiziološka i/ili morfološka svojstva hrasta kitnjaka i obične bukve tijekom sušnog limitirajućeg razdoblja i razdoblja oporavka mogla bi biti manje izražena (5 %) u odnosu na nisku koncentraciju fosfora u supstratu (10 %). S druge strane, razlika u oporavku fizioloških i/ili morfoloških svojstava tijekom post sušnog limitirajućeg razdoblja također bi mogla biti manje izražena pri visokoj (5 %) u odnosu na nisku koncentraciju fosfora u supstratu (10 %) između hrasta kitnjaka i obične bukve.



Slika 6. Shematski prikaz očekivanog trajanja preživljenja istraživanih biljaka pod utjecajem dugotrajne suše tijekom 2023. godine ptaknute uspješnim memoriranjem prethodno pretrpljenog sušnog stresa s obzirom na prijašnje tretmane tijekom 2022. godine s visokom koncentracijom fosfora uz nisku vlažnost supstrata (+PD), visokom koncentracijom fosfora uz visoku vlažnost supstrata (+PW), niskom koncentracijom fosfora uz nisku vlažnost supstrata (-PD) i niskom koncentracijom fosfora uz visoku vlažnost supstrata (-PW).

ranja sušnoga stresa kod obične bukve i hrasta kitnjaka, sve biljke (u sva četiri sanduka) nakon potpunog razvoja lišća u proljeće 2023. godine bit će jednokratno zalivene s jednakom količinom vode, nakon čega se više neće zaljevati. Prema tome, sve kutije s biljkama bez obzira na različite tretmane vlaženja u 2022. godini sada će biti izložene dugotrajnoj suši (do odumiranja lišća). Takav dizajn pokusa trebao bi pružiti uvid u ulogu povišene koncentracije P u supstratu na memorirane sušnoga stresa kod obične bukve i hrasta kitnjaka. Drugim riječima zahvaljujući prilagođenim fiziološkim i/ili morfološkim svojstvima biljke iz prijašnjeg +PD tretmana mogle bi učinkovitije odoljevati dugotrajnoj suši tijekom 2023. godine u odnosu na biljke iz ostalih tretmana, te najduže preživjeti zahvaljujući pozitivnom utjecaju P na memoriranje prethodno pretrpljene suše (Slika 6).

Nove spoznaje o utjecaju povišene koncentracije P u tlu na fiziološka i morfološka svojstva obične bukve i hrasta kit-

njaka u interakciji sa sve nestabilnijim klimatskim prilikama i učestalim pojavama sušnoga stresa mogle bi biti važne za budući razvoj društva i gospodarstva. U tom kontekstu, rezultati ovoga projekta mogli bi pridonijeti razvoju inovativne metodologije za selekciju prirodnih (čistih i/ili mješovitih) sastojina obične bukve i hrasta kitnjaka koje su otporne na sušu, uzimajući u obzir koncentraciju P u tlu njihova prirodnog staništa. Na temelju takve selekcije bilo bi moguće izrađivati kvalitetnije i realističnije planove upravljanja i gospodarenja šumskim ekosustavima s ciljem dugoročnog opstanka i potrajnog gospodarenja šumskim resursima u neizvjesnoj budućnosti. Na temelju planova upravljanja šumskim resursima koji bi uključivali sposobnost obične bukve i hrasta kitnjaka da se prilagode nadolazećim promjenama u okolišu mogli bi održati visoku razinu vitalnosti njihovih prirodnih mješovitih sastojina i osigurati uspješnu prirodnu obnovu takvih sastojina u budućnosti. Na taj način bilo bi moguće smanjiti troškove gospodarenja mješovitim bukovo kitnjakovim sastojinama uvjetovane smanjenim prilagodbenim kapacitetom obične bukve i hrasta kitnjaka na promjene okolišnih prilika. Uz to, projektni rezultati mogli bi imati visok stupanj praktične implementacije u rasdaničkoj proizvodnji sadnoga materijala prilikom njegove umjetne prihrane s P. Dodavanjem mineralnih gnojiva odgovarajuće formulacije usklađene s kemijskim značajkama tla na kojem se sadni materijal uzgaja i fiziološkim potrebama sadnoga materijala za P moglo bi se doprinijeti proizvodnji iznimno kvalitetnog sadnog materijala. Takav sadni materijal u budućnosti bi mogao podržavati gospodarske i općekorisne funkcije šuma, uključujući produkciju dovoljne količine drvene sirovine u skladu s tržišnim potrebama, ublažavanje klimatskih ekstrema, pročišćavanje onečišćenog zraka, pozitivan utjecaj na ljeptu krajobraza, očuvanje biološke raznolikosti genofonda šumskoga drveća i ostalih vrsta šumske biocenoze, ublažavanje negativnog efekta „staklenika“ vezivanjem CO₂ iz atmosfere i obogaćivanjem okoliša kisikom.

15 GODINA STRUKOVNE KOMORE U ŠUMARSTVU (2006 – 2021)

silvija Zec, dipl. ing. šum.



Hrvatska komora inženjera šumarstva i drvne tehnologije (HKIŠDT) osnovana je na temelju Zakona o HKIŠDT (NN 22/2006) na osnivačkoj skupštini 27. rujna 2006. godine. Komora je samostalna i neovisna strukovna organizacija koja obavlja povjerene javne ovlasti, čuva ugled, čast i prava svojih članova – ovlaštenih inženjera koji obavljaju stručne poslove iz područja šumarstva, lovstva i drvne industrije, sukladno odredbi članka 50. Zakona o šumama iz 2005. godine.

U Komoru su udružena dva strukovna razreda: Razred ovlaštenih inženjera šumarstva i Razred ovlaštenih inženjera drvne tehnologije. Tijela Komore su Skupština, Nadzorni odbor, Vijeće i predsjednik Komore.

Komora obavlja javne ovlasti: vodi Imenik ovlaštenih inženjera; provodi stručne ispite; daje, obnavlja i oduzima licencije za izvođenje radova iz područja šumarstva, lovstva i drvne industrije; izdaje čekiće i teretne listove (popratnice) licenciranim izvođačima radova, provodi postupak priznavanja inozemnih stručnih kvalifikacija i provodi stručni nadzor nad radom ovlaštenih inženjera. Javne ovlasti povjerene Komori od strane države definirane su Zakonom o HKIŠDT i Zakonom o šumama, i one u funkcionalnom smislu razlikuju Komoru od udruge građana. Sukladno ovlastima, Komora ugovara i policu osiguranja od odgovornosti za svoje članove.

Komora organizira za svoje članove stručno usavršavanje. Neprekidno od 2008. godine održava se u prosjeku 30 predavanja godišnje, regionalno, na cijelom području Hrvat-

ske. Organizirane su i stručne ekskurzije te dvije konferencije ovlaštenih inženjera, obje u Šibeniku (2016. i 2019. godine). Osim toga, Komora kontinuirano daje potporu izdavanju strukovnih časopisa, knjiga i udžbenika te organizaciji strukovnih događanja i konferencija - Komora sufinancira izdavanje Šumarskoga lista neprekidno od 2012. godine, plaćanjem godišnje pretplate za svoje članove.

HKIŠDT je sudjelovala i bila partner u provedbi nekoliko projekata financiranih iz EU fondova. U skladu sa svojim zadaćama i ciljevima, predstavnici Komore kontinuirano sudjeluju u radu povjerenstava za donošenje zakonskih i podzakonskih akata, ponajprije u radu iz područja šumarstva, lovstva i drvne industrije.

Svrha Komore i regulacije struke

U Hrvatskoj djeluje 25 strukovnih komora, od kojih je sedam komora inženjerskih struka. Počeci komorskoga udruživanja na ovim područjima sežu u 19. stoljeće. Godine 1872. u Zagrebu i Osijeku osnovani su Odvjetnički odbori, preteče odvjetničke komore. Liječnička komora je osnovana 1903. godine za područje Splita i okolice, a 1923. za područje Hrvatske, Slavonije i Međimurja, sa sjedištem u Zagrebu. Kada je riječ o „inženjerskim“ komorama, Hrvatska komora arhitekata i inženjera u graditeljstvu osnovana je 1998. godine.

Osnivanjem Komore, šumarska se struka svrstala u reguliranu profesiju – profesionalnu djelatnost kod koje je pristup i obavljanje djelatnosti na temelju zakonskih, regula-



Druga konferencija ovlaštenih inženjera šumarstva, Šibenik, 17 - 20. listopada 2019. godine

tornih ili upravnih odredbi izravno ili neizravno uvjetovano posjedovanjem određenih stručnih kvalifikacija.

Ulaskom RH u EU intenzivirano je osnivanje strukovnih komora. S obzirom da regulacija profesije postavlja dodatne uvjete za njihovo obavljanje, u pravilu u obliku odgovarajućega stručnoga iskustva i položenoga stručnoga ispita, kao i stalno stručno usavršavanje te definira i odgovornost u obavljanju stručnih poslova, velik je pritisak na smanjenje regulacije profesija. Sloboda poslovnog nastanka i sloboda pružanja usluga su temeljne slobode EU. S druge strane složenost i odgovornost pojedinih profesija, kao i garancija kvalitete i sigurnosti pruženih usluga te prevladavajući javni interes, procjenjuju se u opravdanju regulacije pojedine profesije. Postojanje strukovnih komora ujednačava i olakšava priznavanje profesionalnih kvalifikacija i pojednostavljuje administrativne postupke upravo pri pružanju stručnih usluga izvan granica vlastite države, uz istodobno osiguranje zaštite zdravlja i interesa korisnika.

Opravdanje za regulaciju profesija nalazi se u prevladavajućem javnom interesu, što može biti zaštita života, zdravlja, imovine, sigurnosti, okoliša i dr. Navedeno opravdanje je potvrđeno i odlukom Ustavnoga suda Republike Hrvatske, koji je istaknuo kako je država na komoru prenijela posebnu zaštitu javnog interesa i interesa trećih osoba, pa obveza udruživanja u komoru nije u suprotnosti s čl. 43. Ustava RH, odnosno ne smatra se povredom prava na slobodu udruživanja, jer je riječ o poslovima od javnoga interesa. Javni interes određuje i izdvaja javne usluge koje se podvrgavaju regulaciji kako bi se zaštitile od pogrešaka tržišta. Samoregulacija od strane profesije, odnosno unutar same profesije smatra se adekvatnim izborom između državne regulacije i regulacije tržištem.

Liječnici, arhitekti, odvjetnici, inženjeri i drugi profesionalci obavljanjem svoje djelatnosti utječu na ključne društvene vrijednosti – život, zdravlje, imovinu, sigurnosti i okoliš, stoga je radi osiguranja učinkovitosti i kvalitete pružanja usluga potrebno regulacijom urediti obavljanje profesionalne djelatnosti u korist javnoga interesa. U obavljanju stručnih poslova u šumarstvu, planiranju zahvata i radova u šumskim ekosustavima, šumarski inženjeri utječu na okoliš i visokovrijednu imovinu, a kako je riječ o visokorizičnom poslovima, utječu i na sigurnost i zdravlje pa i život ljudi. Kada je riječ o takvim djelatnostima, prepustiti tržištu da zakonitostima ponude i potražnje definira pružanje usluga moglo bi dovesti do povećanja broja nekvalitetnih usluga i ugrožavanja društvenih vrijednosti, kao što su zdravlje, sigurnost i okoliš.

U profesionalizaciji djelatnosti prepoznato je pet faza (Wilensky, 1964.):

- obavljanje stalnoga zanimanja (djelatnost se obavlja trajno i neprekidno), potiče potrebu za
- uspostavom obrazovnih institucija, zatim dolazi do

- uspostave profesionalnih udruženja koja nastoje definirati temeljno područje djelovanja i uvjete za primanje u članstvo, nakon čega slijedi
- dobivanje pravnog priznanja i ovlasti licenciranja te na kraju
- uspostava kodeksa etike te struktura za njihovu primjenu.

Ustav Republike Hrvatske od samoga osamostaljenja prepoznao je važnost šuma i člankom 52. definirao ih dobrima od posebnoga interesa, koja uživaju njezinu posebnu zaštitu. Interes Republike Hrvatske ostvaruje se i osigurava kroz upravljanje šumama, putem nadležnoga državnog tijela (ministarstvo nadležno za šumarstvo) i to donošenjem zakonodavnoga okvira koje obvezuje na poštivanje sve šumoposjednike, neovisno o vlasništvu šuma. Iako su šume privatne ili državne, utvrđeno je jedinstveno šumskogospodarsko područje; upravo kako bi se osiguralo jedinstveno, trajno i održivo gospodarenje šumama i šumskim zemljištima te planiranje i usmjeravanje njihova razvoja, neovisno o njihovu vlasništvu.

Posljednjih godina, u sklopu restitucije, odnosno povrata imovine, dio šuma se vraća privatnim šumoposjednicima (sukladno podacima Šumsko-gospodarske osnove područja 2016–2025., trenutno je 24% šuma i šumskih zemljišta u privatnom vlasništvu). Upravo kako bi se osigurao javni interes u gospodarenju šumama, važno je reguliranje obavljanja stručnih poslova od strane ovlaštenih inženjera te izvođenje šumarskih radova od strane licenciranih izvođača radova. Udruživanje ovlaštenih inženjera i javne ovlasti Komore u potvrđivanju ispunjavanja uvjeta za izvođenje šumarskih radova, osigurava poštivanje zakonskih okvira i trajno ispunjavanje multifunkcionalne uloge šuma, neovisno o njihovu vlasništvu. Smatramo li da bi bilo u redu kada bi privatni šumoposjednik mogao povjeriti gospodarenje šumama nekoj drugoj struci, jer je riječ o privatnom vlasništvu? Upravo postojanje Komore štiti struku u obavljanju poslova, a time i javni interes države u gospodarenju šumama, jer šume i šumska zemljišta su dobra od posebnoga interesa.

Članovi Komore, ovlašteni inženjeri šumarstva i drvne tehnologije, podliježu ispunjavanju istih uvjeta i poštivanja kodeksa strukovne etike i pravila struke, neovisno o tomu tko im je poslodavac; na taj način je zaštićen javni interes. To nikako ne znači nepoštivanje prethodno stečene diplome; naprotiv, ona je temelj za daljnje potvrđivanje stručnosti i etičnosti u obavljanju stručnih poslova. Postojanje Komore ne sprječava u obavljanju odgovarajućih poslova magistre/diplomirane inženjere šumarstva koji još nisu stekli ovlaštenje. Rad pod nadzorom i uz mentorstvo te suradnju s ovlaštenim inženjerima u svakodnevnom poslu definirat će i unaprijediti njihove stručne kompetencije, što može doprinijeti u odluci o potrebi stjecanja ovlaštenja. Pomoć i suradnja te razgovori na stručnoj razini s kolegama



Izvor: Internet

koji su zaposleni kod privatnih poslodavaca, licenciranih izvođača te njihovo stvarno uključivanje u obavljanje poslova doprinijet će kvaliteti obavljanja poslova, povezanosti i jedinstvu, a time i podizanju ugleda i važnosti struke.

Strukovne komore osnivaju se s ciljem zaštite interesa struke. Potreba osnivanja šumarske komore istaknuta je u Nacionalnoj šumarskoj politici i strategiji (NN 120/2003). HKIŠDT je osnovana na zajedničku inicijativu nadležnoga ministarstva, Hrvatskoga šumarskoga društva, Šumarskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatskoga šumarskoga instituta te tvrtke „Hrvatske šume“ d.o.o. Zagreb, čime je dodatno potvrđena duga tradicija šumarske struke i potrajnoga gospodarenja šumama u Hrvatskoj.

Prvo spominjanje pojma potrajnosti (danas češće definirano kao održivost), također je vezano uz šumarstvo. Naime, još 1713. godine Hans Carl von Carlowitz objavio je knjigu pod naslovom *Sylvicultura oeconomica, oder haushwirthliche Nachricht und Naturmäßige Anweisung zur wilden BaumZucht* – „*Sylvicultura oeconomica*, ili gospodarska poruka i upute za prirodni uzgoj divljih stabala“. Ova se knjiga smatra prvom sveobuhvatnom raspravom o šumarstvu u kojoj je prvi puta istaknuto i definirano načelo potrajnosti, odnosno održivoga gospodarenja šumama. U šumarstvo na našim područjima ovo načelo je implementirano 1769. godine Šumskim redom Marije Terezije, koji je izdan na hrvatskom jeziku. Šumarska struka u Hrvatskoj pratila je i prihvatila „nove“ trendove. Naime, prethodno su, 1765. godine osnovane prve tri šumarije: Krasno, Baške Oštarije i Petrova Gora, što se smatra i počecima organiziranoga gospodarenja šumama na području današnje Hrvatske. Razvoj struke pratio je i razvoj visokoškolskog ob-

razovanja i znanosti, počevši od poučavanja šumarstva u strukovnoj školi već od 1860. godine te zatim i studija u okviru Sveučilišta u Zagrebu od 1898. godine. I staleški, znanstveno-stručni časopis „Šumarski list“ ima tradiciju dugu 145 godine, jer neprekidno izlazi od 1877. godine.

Iz ovih podataka datuma dobro poznatih šumarskoj struci jasno su vidljivi stupnjevi koje Wilensky ističe u profesionalizaciji pojedine djelatnosti: kontinuirano obavljanje šumarskih djelatnosti rezultira potrebom sustavnoga obrazovanja, a zatim i zaštitom struke – osnivanjem profesionalnoga udruženja, odnosno strukovne komore. Stoga je i logično da su tada postojeće institucije prepoznale potrebu i inicirale osnivanje Komore, što je rezultiralo donošenjem Zakona o HKIŠDT u veljači 2006. godine.

Važnost i opravdanost strukovne komore u obrani struke

Šumarska struka mora planirati i projicirati gospodarenje određenim područjem u promjenjivim okolnostima te u, za ljudske pojmove, poslovni, pa i životni vijek čovjeka, vrlo dugom razdoblju. Često je taj plan i tu viziju teško shvatiti nešumaru koji posjeti povremeno, često jednokratno, područje na kojemu je neposredno prije izvršena oplodna sječa. Na takvoj površini možda je teško i uočiti potomke i nasljednike posječenih stabala, mladu šumu koja započinje svoj život i bori se za opstanak. Šumari će mlada stabalca svojim znanjem i stručnim zahvatima voditi u borbi za mjesto pod suncem te osigurati da tijekom ophodnje, odnosno svoga životnoga vijeka maksimalno obavljaju izuzetno važne i neizmjerljivo vrijedne općekorisne, negospodarske funkcije – proizvodnju kisika, pročišćavanje



Izvor: HKIŠDT

zraka i voda, zaštitu tla i sprječavanje erozija, apsorpciji CO₂ - općenito zaštitu i unapređenje čovjekova okoliša.

Pri tomu šumarskim stručnjacima brze klimatske promjene koje se događaju sve većom brzinom, tako da im se šuma sve teže stiže i uspijeva prilagoditi, sa svim svojim posljedicama svakodnevno otežavaju posao. Šumskogospodarski plan je odredio vrijeme sječe na Medvednici, ali je oluja Teodor imala druge planove; s pažnjom su planirani zahvati u šumama Gorskoga kotara, no ledolom, a zatim i potkornjaci su odlučili drukčije....

Ukoliko je u tim okolnostima u svakodnevnom obavljanju poslova bilo pogrešnih procjena ili zahvata to može raspraviti i „presuditi“ samo šumarska struka, koja te pogreške može i ispraviti. Kompetencije i kvalitetu usluga koja zahtijeva visok stupanj vještine i znanja mogu ocijeniti samo ko-

lege iz struke, a dobar „alat“ je stručni nadzor Komore. I pri tomu će svakako pomoći bolja informiranost i pozitivni stav javnosti, kao i podrška i razumijevanje te povjerenje u dosadašnju tradiciju i rezultate održivoga gospodarenja šumama.

A da su to šumari znali i da će i u budućnosti znati dokazuje duga tradicija održivoga i organiziranoga gospodarenja šumama, koja se ponosi s 97% šuma prirodnoga podrijetla i koja je rezultirala šumovitošću Hrvatske od gotovo 50%, kao i velikom bioraznolikosti kojom se Hrvatska ističe i koja je očuvana uglavnom u našim šumskim ekosustavima, zbog koje je i gotovo 50% šuma obuhvaćeno Natura 2000 područjima. Sve uz održavanje ravnoteže u ispunjavanju ekonomske, ekološke i socijalne funkcije šuma i šumarskoga sektora.

Brojne politike Europske unije i realizacija njihovih ciljeva dotiče, ovisi i oslanja se na šumarski sektor i njegovu uspješnost. Jedinstvo struke i institucija koje su prepoznale važnost i potrebu osnivanja strukovne komore potrebno je i dalje, u promjenjivim i izazovnim vremenima koja nude i nove mogućnosti za razvoj. Prvih 15 godina postojanja Komore značajan je korak naprijed, a shvaćanje njezine svrhe i uloge doprinijeti će naglašavanju važnosti te prepoznatljivosti i zaštiti struke i njezina ugleda.

Korištena literatura:

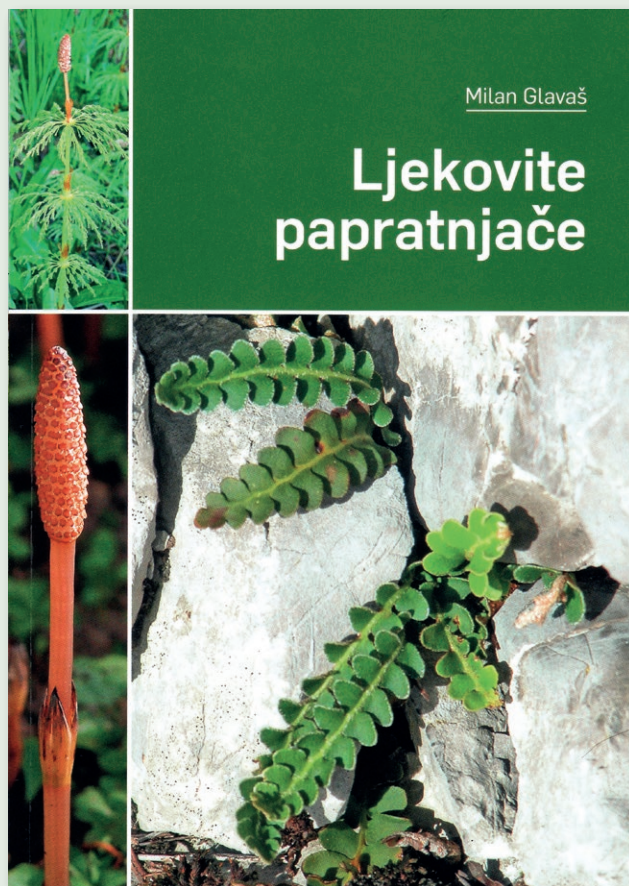
- Musa, A., Džinić, J., 2012: *Europska regulacija profesija i komore u Hrvatskoj: razvoj upravne profesije i drugih profesija u javnoj upravi*; Institut za javnu upravu, Zagreb (priručnik)
- 10 godina Hrvatske komore inženjera šumarstva i drvne tehnologije – brošura; urednici: Poršinsky, T., Zec, S., 2016.
- zakonodavni akti – dostupni na: www.nn.hr



PROF. DR. SC. MILAN GLAVAŠ LJEKOVITE PAPRATNJAČE

Izv. prof. dr. sc. Damir Drvodelić

Nedavno je iz tiska izašla nova knjiga uvaženog umirovljenog prof. dr. sc. Milana Glavaša s Fakulteta šumarstva i drvene tehnologije, pod nazivom *Ljekovite papratnjače*. Izlazak ovakve knjige je pravo iznenađenje i osvježenje ne samo u šumarskoj struci, nego i u području biotehnologije, farmacije i veterine. Nakladnik knjige je Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvene tehnologije i Hrvatska komora inženjera šumarstva i drvene tehnologije. Recenzenti i autori fotografija su prof. dr. sc. Jozo Franjić i dr. sc. Dario Kremer. Priprema i tisak obavila je firma Denona d.o.o. Obrađene su papratnjače odjeljka *Pteridophyta* (*Monilophyta*) i tri razreda. Prvi razred je *Lycopodiopsida* (*Lycopodiatae*) – crvotočine u kojem je obrađena vrsta *Lycopodium clavatum* L., obična crvotočina iz reda *Lycopodiales*. U drugom razredu *Equisetopsida* (*Sphenopsida*, *Equisetatae*, *Equisetophyta*) – preslice, obrađen je red *Equisetales* s 9 ljekovitih papratnjača a to su: poljska preslica (*Equisetum arvense* L.), velika preslica (*Equisetum telmateia* Ehrh.), zimska preslica (*Equisetum hyemale* L.), močvarna preslica (*Equisetum palustre* L.), riječna preslica (*Equisetum fluviale* L.), šumska preslica (*Equisetum sylvaticum* L.), razgranjena preslica (*Equisetum ramosissimum* Desf.), šarena preslica (*Equisetum variegatum* Schleich) i livadna preslica (*Equisetum pratense* Ehrh.). Drugi obrađeni razred je *Pteridopsida* (*Filicopsida*, *Filicinae*, *Filicatae*, *Polypodiopsida*, *Pteropsida*) s dva reda a to su *Pteridales* (*Filicales*, *Polypodiales*) – paprati i red *Osmundales*. Unutar reda *Pteridales* opisane su vrste iz 6 porodica. Iz porodice *Dennstaedtiaceae* opisana je bujad, *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn; iz porodice *Aspleniaceae* – slezenice, opisane su četiri vrste: crna slezenica (*Asplenium adiantum-nigrum* L.), ljekovita slezenica (*Asplenium ceterach* L.), obični jelenak (*Asplenium scolopendrium* L.) i smeđa slezenica (*Asplenium trichomanes* L.); iz porodice *Woodsiaceae* – bujatke, vudsije, opisana je vrsta ženska paprat (*Athyrium filix-femina* (L.) Roth); iz porodice *Polypodiaceae* – osladi, osladnjače, vrsta oslad (*Polypodium vulgare* L.) dok su iz porodice *Dryopteridaceae* – paprati, papratke, opisane tri vrste i to: muška paprat (*Dryopteris filix-mas* (L.) Schott), bodljikava papratnjača (*Polystichum aculeatum* (L.) Roth) i kopljasta papratnjača, paprat oštra (*Polystichum lonchitis* (L.) Roth. Iz reda *Osmundales* obrađena je porodica *Osmundaceae* – pujanike, pujanikovke, pujanice, pujanici s vrstom kraljevska



Naslovnica knjige *Ljekovite papratnjače* autora prof. dr. sc. Milana Glavaša

paprat (*Osmunda regalis* L.). Za pisanje ove nadasve zanimljive i posebno vrijedne knjige, autor se koristio s 35 izvora literature.

Ova knjiga je zanimljiva zbog činjenice da su pojedine vrste papratnjača vrlo rijetko opisane kao ljekovite biljke, a u ovoj knjizi se mogu pronaći sve na jednom mjestu. U knjizi su navedeni osnovni podaci o svakoj vrsti papratnjača na razumljiv i koristan način. Zanimljiv je podatak kako u svijetu ima od 9 000 do 12 000 vrsta papratnjača, a u Republici Hrvatskoj od prirode raste tek manji broj vrsta koje ljudi obično ne prepoznaju niti im daju veće značenje, iako su vrlo ljekovite i korisne. Neke vrste su ukrasne, a druge ljekovite i otrovne za ljude i životinje. Pojedine vrste su jedne od najstarijih i najznačajnijih živućih biljaka, pojavile su se

prije oko 380 milijuna godina. Nažalost, osim preslica (*Equisetidae*) i reda *Equisetales* L. sve druge su izumrle. Od 15 vrsta preslica kod nas raste devet vrsta, neke su snažne korovske vrste, druge pak otrovne za životinje i ljude, treće su opet suprotne, jestive i ljekovite te pružaju mnogostruke koristi u stabilnosti šumskih i livadnih fitocenoza. Najvažnija je ljekovita poljska preslica o kojoj autor detaljno piše. Svaka vrsta je prikazana narodnim i latinskim nazivom, sinonimima i drugim narodnim nazivima. Za neke vrste autor piše o povijesnim podacima o nekadašnjoj uporabi kod nas i u svijetu. Uz svaku vrstu opisan je areal i stanište, što uključuje tlo i klimatske čimbenike. Prikazom morfoloških karakteristika i fotografija pojedine papratnjače, omogućeno nam je lakše prepoznavanje u prirodi i razlikovanje. Kod ljekovitosti biljaka važno je poznavati koji dijelovi biljke se koriste, kalendar berbe, kako se obrađuju i spremaju. Kemijski sastav biljke određuje njezinu ljekovitost ili toksičnost. U knjizi je opisana uporaba pojedine vrste u ljekovite svrhe, ali i otrovnost za ljude i životinje te pripadajuće nuspojave. U smislu široke uporabe posebno se ističu poljska preslica, crvotočina, bujad, ženska i muška paprat. Papratnjače su prve biljke s provodnim sustavom, a razmnožavaju se sporama, no mnoge se mogu razmnožavati i vegetativno. Važnost papratnjača je u stvaranju fosilnog goriva, tako da su danas velika nalazišta ugljena i

nafte nastala upravo procesom karbonizacije tih biljaka. Papratnjače mogu biti jednogodišnje i višegodišnje zeljanice, dok u tropskim krajevima ima i drvenastih vrsta. Pomno čitajući svaku riječ ove nadasve zanimljive, poučne i vrijedne knjige, ponekad ostajem bez teksta, stanem i ispočetka čitam neku rečenicu u nevjerici kakve ljekovite i djelotvorne tvari se pronalaze u pojedinoj vrsti s kojima se može liječiti ili preventivno spriječiti pojava mnogih bolesti kod ljudi i životinja, posebice onih pogubnih. Osim poznavanja rasprostranjenosti, staništa, morfologije biljke, njezinih ljekovitih dijelova i sastava, važno je znati koji se dio biljke bere, kada se bere te kako se pravilno prerađuje i upotrebljava. Knjiga je pisana kozmopolitskim jezikom, baš kako i od prirode rastu većina papratnjača. Autorov jezik je čist, znanstven, stručan, popularan i nadasve razumljiv. Iz toga razloga knjiga se može preporučiti ne samo šumarima, biolozima, prehrambenim tehnolozima, veterinarima ili farmaceutima, već svakom čovjeku koji šeta prirodom i voli biljke, a svoje zdravlje smatra imperativom života. Svom predragom prijatelju i profesoru od srca čestitam na još jednom vrhunskom izdanju koje će obogatiti naše knjižnice i kućne biblioteke. Čestitam mu na univerzalnoj knjizi za svakoga tko želi dobiti ili proširiti znanje o ljekovitim papratnjačama u Hrvatskoj i svijetu. Profesore, moj naklon na ideji i ostvarenju iste!



ZORAN SABLJARIĆ, dipl. ing. šum. (Karlovac, 15. 5. 1961. – Karlovac, 3. 4. 2021.)

Oliver Vlainić; dipl. ing. šum.

Karlovačko šumarstvo ostalo je bez još jednog istaknutog šumara, i to u godinama kada se još očekuje doprinos zajednici. Nažalost, duga i teška bolest bila je jača od inače snažnoga tijela i duha kolege Zorana Sabljarića, koji je preminuo u 60. godini u Karlovcu. Tako je karlovačka podružnica Hrvatskih šuma u nešto više od dva mjeseca ostala i bez drugoga nekadašnjeg voditelja.

Zoran Sabljarić pokopan je 7. travnja 2021. na karlovačkom groblju Jamadol, uz brojnu rodbinu, prijatelje i znance. U ime UŠP Karlovac od pokojnika se oprostio voditelj podružnice Marin Svetić, dipl. ing. šum. sljedećim govorom:

Koliko god smo bili svjesni da ćeš teško izdržati dugotrajnu borbu s opakom bolešću, toliko smo se nadali čudu koje se nažalost nije dogodilo. Dragi Zoki, fizički si nas napustio 3. travnja 2021. godine, ali tvoj snažan duh i nasljeđe ostat će zauvijek zapamćeni i zabilježeni u sadašnjim i budućim generacijama zaposlenika karlovačke podružnice Hrvatskih šuma, ali i šire. Iako nisi doživio ni puni radni vijek, svojim djelovanjem ostavio si zapažen trag ne samo u šumarskoj struci, nego i u drugim poljima u kojima si se okušao. Volio si svoj rodni Cerovac Vukmanički, Karlovac, Karlovačku županiju, a nadasve Hrvatsku. Volio si svoju obitelj kojoj ćeš ostati nenadoknativ gubitak.

Zoran Sabljarić, sin Stjepana i Barbare r. Polović iz Cerovca Vukmaničkog, rodio se u Karlovcu 15. svibnja 1961. Osnovnu školu završio je u karlovačkom naselju Turanj 1975. godine. U razdoblju pohađanja osnovne i srednje škole aktivno se bavio košarkom u košarkaškom klubu „Željezničar“. Opređeljivši se za šumarstvo kao životni poziv, prvo je stekao kvalifikaciju šumarskog tehničara u srednjoj Šumarskoj školi u Karlovcu 1980. godine, a nakon diplome na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu 1987. godine i zvanje diplomiranog inženjera šumarstva. Prvo zaposlenje dobio je 1. lipnja 1987. u Šumskom gospodarstvu Karlovac, OOUR-u za iskorišćivanje šuma, Šumariji Krnjak. Nakon pripravničkog staža prešao je u Šumariju Vojnić, gdje je kao inženjer u operativi radio do kraja 1990. godine. Početkom 1991. godine, ustrojem javnog poduzeća Hrvatske šume s Upravom šuma Karlovac, imenovan je zamjenikom upravitelja Šumarije Karlovac. To je i vrijeme Domovinskog rata, čiji je i sam sudionik, ali i prognanik iz svog Cerovca Vukmaničkog, što mu je uz očevu smrt donijelo dodatne patnje. Nakon pobjedonosne Oluje vratio se roditeljskoj kući koju je obnovio. Od



1. siječnja 1992. do 28. veljače 1999. bio je upravitelj Šumarije Duga Resa. S 1. ožujkom 1999. preuzeo je poslove stručnog suradnika za uzgajanje šuma u Proizvodnom odjelu Uprave šuma Karlovac. Najvišu funkciju u poslovnoj karijeri imao je od 29. ožujka 2004. do 23. travnja 2012. kada je u dva mandata obnašao dužnost voditelja Uprave šuma Podružnice Karlovac. To će razdoblje ostati upamćeno kao vrlo plodno, kako za njega osobno, tako i za UŠP Karlovac. Još kao stručni suradnik za uzgajanje šuma želio je poboljšati metode obnove i njege šuma, posebice najvrjednijih šuma hrasta lužnjaka. Postavši voditelj podružnice, osnažio je svoje ideje te mnoge lužnjakove šume od šumarije Jastrebarsko do šumarije Topusko ostaju trajni stoljetni spomen na primjenu kvalitetnijih tehnologija obnove kojih je bio inicijator, o čemu je svjedočio i akademik Slavko Matić. Isticao se i svojim talentom za razvoj nešumarskih djelatnosti u Hrvatskim šumama, kao i odnosa s javnošću, što je uspješno primijenio u mnogim ostvarenjima, a posebno tijekom realizacije obnove lovačkog doma Muljava, stvaranjem Turističkog centra Petrova gora, ali i popularnoga Šumarskog kutića na karlovačkim danima piva te restorana Avium u sklopu upravne zgrade UŠP Karlovac. Nezaboravni ostaju i Dani hrvatskoga šumarstva održani u Karlovcu u lipnju 2005. godine koji su odlično organizirani pod njegovom palicom. Od 2012. godine do kraja života promijenio je nekoliko radnih mjesta te bio savjetnik u Uredu voditelja, instruktor za obuku radnika i stručni suradnik za građevinarstvo i investicije u Proizvodnom odjelu, a od 17. kolovoza 2017. i rukovoditelj Odjela za ekologiju UŠP Karlovac.

Sportaš u mladosti, a u zreloj dobi obnašatelj mnogih sportskih funkcija poput predsjednika Hrvatskoga rukometnog

kluba Karlovac i Županijskoga košarkaškog saveza. Ipak kruna te karijere bila je funkcija predsjednika Nogometnog kluba Karlovac 2009./2010. godine u vrijeme kada je klub igrao u Prvoj Hrvatskoj nogometnoj ligi, što mu je najveći klupski uspjeh u njegovoj stoljetnoj tradiciji.

Od ostalih funkcija treba istaknuti dužnost predsjednika Turističke zajednice grada Karlovca te predsjednika Upravnog vijeća Javne ustanove Natura Viva za upravljanje zaštićenim dijelovima prirode na području Karlovačke županije.

Kao istaknuti član HDZ-a bio je vijećnik Grada Karlovca, dugogodišnji predsjednik Temeljnog ogranka Cerovac Vukmanički, gdje je bio i predsjednik Dobrovoljnog vatrogasnog društva i Mjesnog odbora.

Istaknut trag ostavio je i u strukovnoj udruzi Hrvatskom šumarskom društvu, u kojemu je bio redoviti član, dopredsjednik i tajnik Ogranka Karlovac.

Brojna su odlikovanja koja je dobio za svoje – ratne zasluge: spomenica Domovinskog rata i medalja „Oluja”; društvene zasluge: godišnja nagrada Karlovačke županije 2007. godine za uspjehe postignute u radu i promicanju djelatnosti u 2006. godini i medalja Grada Karlovca 2007. godine te strukovne zasluge: priznanje s prstenom HŠD-a ogranka Karlovac za aktivno sudjelovanje u radu Upravnog odbora ogranka 2007. godine, zahvalnica HŠD-a s plaketom za višegodišnju podršku hrvatskih sudionika na europskim skijaškim natjecanjima (EFNS) 2008. godine te zlatna medalja „Franjo Šporer“ HŠD-a ogranka Karlovac za osobite rezultate u djelatnosti HŠD-a i struke u trajanju od najmanje 20 godina 2018. godine.

Živio je u skladnom braku u kojemu je postao i otac troje djece.

Dragi naš Zorane, ostat ćeš u sjećanju brojnim mladim kolegicama i kolegama koje si zaposlio i pomogao u razvoju njihovih karijera. Pamtit ćemo te po tvojoj energiji koju si prenosio na svoje suradnike i zaposlenike prilikom realizacije brojnih projekata. Ideje koje su nastajale u tvojoj glavi znale su biti neshvaćene jer su bile ispred svoga vremena, ali vrijeme je pokazalo da si često bio u pravu. Spomenut ću kao primjer promatranje zvijezda na Petrovoj gori, što smo svi, kad si to iznio prije dvadesetak godina, smatrali kao malo ludo, ali danas je Petrova gora prvi hrvatski park tamnog neba koji posjećuju ljubitelji zvijezda. Možda je jedna od zvijezda koju će moći vidjeti i tvoja. Ni u zadnjim mjesecima života nisi prestajao iznositi i razrađivati nove ideje. Šteta da nisi imao priliku provesti u djelo još koju svoju zamisao.

U ime zaposlenika Uprave šuma Podružnice Karlovac, članova HŠD-a ogranka Karlovac te svoje osobno ime, upućujem iskrene riječi sućuti supruzi Draženki, sinovima Stjepanu i Tomislavu, kćeri Mariji, sestri Renati i ostaloj tugujućoj rodbini i prijateljima.

Dragi Zoki, počivao u miru i neka ti je laka hrvatska zemlja. Nedostajat ćeš nam.

Osim voditelja UŠP Karlovac od Zorana se oprostio i njegov dugogodišnji bliski suradnik i prijatelj Marinko Matešić, dipl. ing. šum., rukovoditelj Odjela za proizvodnju UŠP Karlovac. Jednostavnim riječima opisao je Zoranove osobine, ali i događaje koji se pamte i koji će ostaviti i duži trag.

UPUTE AUTORIMA

Šumarski list objavljuje znanstvene i stručne članke iz područja šumarstva, odnosno svih znanstvenih grana pripadajućih šumarstvu, zatim zaštite prirode i lovstva. Svaki znanstveni i stručni članak trebao bi težiti provedbi autorove zamisli u stručnu praksu, budući da je šumarska znanost primjenjiva. U rubrikama časopisa donose se napisi o zaštiti prirode povezane uz šume, o obljetnicama, znanstvenim i stručnim skupovima, knjigama i časopisima, o zbivanjima u Hrvatskom šumarskom društvu, tijeku i zaključcima sjednica Upravnoga odbora te godišnje i izvanredne skupštine, obavijesti o ograncima Društva i dr.

Svi napisi koji se dostavljaju Uredništvu, zbog objavljivanja moraju biti napisani na hrvatskom jeziku, a znanstveni i stručni radovi na hrvatskom ili engleskom jeziku, s naslovom i podnaslovima prevedenim na engleski, odnosno hrvatski jezik.

Dokument treba pripremiti u formatu A4, sa svim marginama 2,5 cm i razmakom redova 1,5. Font treba biti Times New Roman veličine 12 (bilješke – fusnote 10), sam tekst normalno, naslovi bold i velikim slovima, podnaslovi bold i malim slovima, autori bold i malim slovima bez titula, a u fusnoti s titulama, adresom i elektroničkom adresom (E-mail). Stranice treba obročati.

Opseg teksta članaka može imati najviše 15 stranica zajedno s prilogima, odnosno tablicama, grafikonima, slikama (crteži i fotografije) i kartama. Više od 15 stranica može se prihvatiti uz odobrenje urednika i recenzenata. Crteže, fotografije i karte treba priložiti u visokoj rezoluciji.

Priloge opisati dvojezično (naslove priloga, glave tablica, mjerne jedinice, nazive osi grafikona, slika, karata, fotografija, legende i dr.) u fontu Times New Roman 10 (po potrebi 8). Drugi jezik je u kurzivu. U tekstu označiti mjesta gdje se priložio moraju postaviti.

Rukopisi znanstvenih i stručnih radova, koji se prema prethodnim uputama dostavljaju uredništvu Šumarskoga lista, moraju sadržavati sažetak na engleskom jeziku (na hrvatskome za članke pisane na engleskom jeziku), iz kojega se može dobro indeksirati i abstrahirati rad. Taj sažetak mora sadržavati sve za članak značajno: dio uvoda, opis objekta istraživanja, metodu rada, rezultate istraživanja, bitno iz rasprave i zaključke. Sadržaj sažetka (Summary) mora upućivati na dvojezične priloge – tablice, grafikone, slike (crteže i fotografije) iz teksta članka.

Pravila za citiranje literature:

Članak iz časopisa: Prezime, I., I. Prezime, 2005: Naslov članka, Kratko ime časopisa, Vol. (Broj): str.–str., Grad

Članak iz zbornika skupa: Prezime, I., I. Prezime, I. Prezime, 2005: Naslov članka, U: I. Prezime (ur.), Naziv skupa, Izdavač, str.–str., Grad

Članak iz knjige: Prezime, I., 2005: Naslov članka ili poglavlja, Naslov knjige, Izdavač, str.–str., Grad

Knjiga: Prezime, I., 2005: Naslov knjige, Izdavač, xxxx str., Grad

Disertacije i magistarski radovi: Prezime, I., 2003: Naslov, Disertacija (Magisterij), Šumarski fakultet Zagreb. (I. = prvo slovo imena; str. = stranica)

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

Forestry Journal publishes scientific and specialist articles from the fields of forestry, forestry-related scientific branches, nature protection and wildlife management. Every scientific and specialist article should strive to convert the author's ideas into forestry practice. Different sections of the journal publish articles dealing with a broad scope of topics, such as forest nature protection, anniversaries, scientific and professional gatherings, books and magazines, activities of the Croatian Forestry Association, meetings and conclusions of the Managing Board, annual and extraordinary meetings, announcements on the branches of the Association, etc.

All articles submitted to the Editorial Board for publication must be written in Croatian, and scientific and specialist articles must be written in Croatian and English. Titles and subheadings must be translated into English or Croatian.

Documents must be prepared in standard A4 format, all margins should be 2.5 cm, and spacing should be 1.5. The font should be 12-point Times New Roman (notes – footnotes 10). The text itself should be in normal type, the titles in bold and capital letters, the subheadings in bold and small letters, and the authors in bold and small letters without titles. Footnotes should contain the name of the author together with titles, address and electronic address (e-mail). The pages must be numbered.

A manuscript with all its components, including tables, graphs, figures (drawings and photographs) and maps, should not exceed 15 pages. Manuscripts exceeding 15 pages must be approved for publication by editors and reviewers. The attached drawings, photographs and maps should be in high resolution.

All paper components should be in two languages (titles of components, table headings, units of measure, graph axes, figures, maps, photographs, legends and others) and the font should be 10-point Times New Roman (8-point size if necessary). The second language must be in italics. Places in the text where the components should be entered must be marked.

Manuscripts of scientific and specialist papers, written according to the above instructions and submitted to the Editorial Board of Forestry Journal, must contain an abstract in English (or in Croatian if the article is written in English). The abstract should allow easy indexation and abstraction and must contain all the key parts of the article: a part of the introduction, description of research topic, method of work, research results, and the essentials from the discussion and conclusions. The summary must give an indication of bilingual components – tables, graphs and figures (drawings and photographs) from the article.

Rules for reference lists:

Journal article: Last name, F., F. Last name, 2005: Title of the article, Journal abbreviated title, Volume number: p.–p., City of publication

Conference proceedings: Last name, F., F. Last name, 2005: Title of the article, In: M. Davies (ed), Title of the conference, Publisher, p.–p., City of publication

Book article: Last name, F, 2005: Title of the article or chapter, Title of the book, Publisher, p.–p. City of publication

Book: Last name, F, 2005: Title of the book, Publisher, xxxx p., City of publication

Dissertations and master's theses: Last name, F., 2003: Title, Dissertation (Master's thesis), Faculty of Forestry, Zagreb) (F. = Initial of the first name; p. = page)



Slika 1. Crveno medvjede grožđe na Velebitu. ■ **Figure 1.** Bearberry on Velebit mountain (Croatia)



Slika 3. Čaška je bijela, katkada crvenkasto presvučena, 1 mm dugačka. Vjenčić je vrčast, bijel do blijedo ružičast, 5–6 mm dugačak. ■ **Figure 3.** Calyx is white, sometimes flushed with red, 1 mm long. Corolla is urceolate, white to pale pink, 5–6 mm long.



Slika 2. Listovi su naizmjenično raspoređeni, jednostavni, cijeloga ruba, duguljasto obrnuto jajasti, tupog ili malo urezanog vrha, 1–3 cm dugački, 5–10 mm široki, na osnovi suženi u kratku peteljku. ■ **Figure 2.** Leaves are alternate, simple, entire, obovate-oblong, obtuse or retuse at apex, 1–3 cm long, 5–10 mm wide, narrowing at the base into a short petiole.



Slika 4. Plodovi su kuglasti, crveni, sjajni, goli, promjera 6–8 mm. ■ **Figure 4.** Fruits are globose, red, shiny, glabrous, 6–8 mm in diameter.

***Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng. – crveno medvjede grožđe, zimzelena medvjetka (Ericaceae)**

Rod *Arctostaphylos* Adans. ima oko 65 vrsta grmova ili manjeg drveća. Crveno medvjede grožđe je vazdazeleni, polegnuti, 10–30 cm visoki, 1–3 m široki grm, prirodno rasprostranjen u Europi, Aziji i Sjevernoj Americi. Listovi su tamnozeleni, sjajni i kožasti. Cvjetovi su dvosponi, entomofilni, 4–7 (–10) zajedno u vršnim, gustim, prevješanim grozdovima. Cvjetanje je od travnja do srpnja. Plodovi su zoohorne bobičaste koštunice koje dozrijevaju od srpnja do rujna. Crveno medvjede grožđe u Hrvatskoj većinom raste na osunčanim, suhim, kamenitim položajima u planinskom pojasu, na karbonatnoj podlozi. Listovi crvenog medvjedeg grožđa koriste se za liječenje urinarnih infekcija (uvin čaj). Ukrasna je vrsta korištena kao pokrivač tla za padine i kamenjare, izložena izravnom svjetlu ili u polusjeni, na kiselom ili alkalnom, dobro propusnom, siromašnom do hranjivima srednje bogatom tlu. Korisna je vrsta za kontrolu erozije tla jer ima dubok, razgranjen korijenski sustav.

***Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng. – Bearberry, Common Bearberry, Kinnikinnick, Pinemat Manzanita, Mountain Cranberry (Ericaceae)**

The genus *Arctostaphylos* Adans. comprises about 65 species of shrubs or small trees. Bearberry is an evergreen, prostrate shrub 10–30 cm high, 1–3 m wide, distributed in Europe, Asia and North America. Leaves are dark green, shiny and leathery. Flowers are bisexual, entomophilous, in terminal, 4–7 (–10)-flowered, dense, nodding racemes. It flowers from April to July. Fruits are zoochorous drupes, maturing in July to September. Bearberry grows in Croatia mostly on sunny, dry and stony sites in the mountain belt, on limestone rock. The bearberry leaves are used to treat urinary tract infections (uva ursi tea). Bearberry is used as an ornamental ground cover for slopes and rock gardens, in full sun to partial shade, on acidic or alkaline, well-drained, poor to moderately fertile soil. Due to its deep, branched roots it is useful for erosion control.