

UDK: 630\*3

ISSN 1845-8815

**NOVA**

**MEHANIZACIJA**

**ŠUMARSTVA**

NOVA  
MEHANIZACIJA



ŠUMARSTVA

Nova meh. šumar. • Godište (Volume) 38

**2017**



 **HRVATSKE  
ŠUME**





Časopis za teoriju i praksu  
šumarskoga inženjerstva

Journal for Theory and Application of  
Forestry Engineering

Nova mehanizacija šumarstva priznati je časopis u međunarodnom okruženju, koji objavljuje znanstvene i stručne radove iz šumarskoga inženjerstva nastalih na osnovi teorijskih ili iskustvenih spoznaja. Časopis pokriva sve oblike i vrste istraživanja u šumarskom inženjerstvu, od osnovnih do primijenjenih.

Od godišta 1 do 25 časopis je tiskan pod naslovom »Mehanizacija šumarstva«.

Nova Mehanizacija Šumarstva is a refereed journal distributed internationally, publishing scientific and professional articles concerning forest engineering, both theoretical and empirical. The journal covers all aspects of forest engineering research, ranging from basic to applied subjects. From volumes 1 to 25 the journal was published under the title »Mehanizacija šumarstva«.

#### Izdavači (Publishers)

Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, »Hrvatske šume« d.o.o. Zagreb  
Forestry Faculty of Zagreb University, »Croatian forests« Ltd. Zagreb

#### Izdavačko vijeće (Publishing Council)

Vladimir Jambrečević, Mario Božić, Mario Šporčić, Krunoslav Jakupčić,  
Ante Sabljčić (all from Croatia)

#### Uredničko vijeće (Editorial Board)

Igor Anić, Ivan Balenović, Saša Bogdan, Zdenko Bogović, Jura Čavlović,  
Damir Drvodelić, Milvoj Franjević, Josip Istvančić, Ante P.B. Krpan, Josip  
Margalešić, Slavko Matić, Hrvoje Nevečerel, Stjepan Risović, Ante  
Seletković, Marijan Šušnjarić, Željko Tomašić, Mislav Vedriš, Željko Zečić,  
Marko Zorić (all from Croatia)

#### Međunarodno uredničko vijeće (International Editorial Board)

Raffaele Cavalli (Italy), Woodam Chung (USA), Milorad Danilović (Serbia),  
Mehmet Eker (Turkey), Jörn Eder (Germany), Stefano Grigolato (Italy), Hans  
Rudolf Heinemann (Switzerland), Dirk Jaeger (Germany), Janez Krč  
(Slovenia), Martin Kühmaier (Austria), Tadeusz Moskalik (Poland), Jusuf  
Musić (Bosnia and Herzegovina), Ljupčo Nestorovski (Macedonia), Igor  
Potočnik (Slovenia), Hideo Sakai (Japan), Dževada Sokolović (Bosnia and  
Herzegovina), Raffaele Spinelli (Italy), Karl Stampfer (Austria), Jari Uusitalo  
(Finland), Rien Visser (New Zealand)

#### Adresa uredništva (Editor's Office)

Svetosimunska 25, HR-10 000 Zagreb, P.O. Box 422, CROATIA  
Tel. + 385 (0)1 235-24-13  
Fax. + 385 (0)1 235-25-17  
e-mail: nms@sumfak.hr  
Internet: http://www.jnms.eu

#### Glavni urednik (Editor-in-Chief)

Mario Šporčić

#### Odgovorni urednik (Editor)

Dinko Vusić

#### Tehnički urednik (Technical Editor)

Andreja Đuka

#### Mladi urednik (Junior Editor)

Ivica Papa

#### Savjetnici uredništva (Editorial Advisors)

Tibor Pentek, Tomislav Poršinsky

#### Tehničko uredništvo (Technical Editorial Board)

Matija Landekić, Kruno Lepoglavec, Zdravko Pandur, Matija Bakarić

#### Jezični savjetnici (Linguistic Advisers)

Branka Tafra (hrvatski)  
Maja Zajšek-Vrhovac (engleski)

#### Časopis referiraju sekundarni časopisi

(Articles are abstracted by or indexed in)  
CAB Abstracts, SCOPUS

#### Svi se objavljeni članci recenziraju

(All published papers have been reviewed)

#### Časopis izlazi jednom na godinu

(Single issues of journal are published annually)

#### Naklada (Circulation): 400

#### Priprema sloga i tisak (Prepress and Print)

»Laser plus« d.o.o., Brijunska 1a, Zagreb

#### Uređenje zaključeno (Preparation ended)

15.12.2017.

## Sadržaj – Contents

### Izvorni znanstveni radovi – Original scientific papers

- Ivica Papa, Tibor Pentek, David Janeš, Tomislav Šerić, Dinko Vusić, Andreja Đuka**  
Usporedba podataka prikupljenih različitim metodama terenske izmjere pri rekonstrukciji šumske ceste  
*Comparison of Data Collected by Different Methods of Field Survey During the Reconstruction of Forest Road* 1
- Andreja Đuka, Tibor Pentek, Tomislav Poršinsky, David Janeš, Mislav Starčević, Ivica Papa**  
Otvorenost gospodarske jedinice Belevine, NPŠO Zalesina, i prijedlog daljnjega otvaranja  
*Forest Openness of Management Unit Belevine, FTSC Zalesina with Proposal for Further Opening* 15
- Vladimir Petković, Dane Marčeta, Darko Ljubojević, Jovan Kuburić**  
Determinacija prosječne skidajne udaljenosti koristeći GIS  
*Određivanje srednje udaljenosti privlačenja drva pomoću GIS-a* 33
- Ante Seletković, Martina Kičić, Alen Berta, Renata Pernar, Mario Ančić, Jelena Kolić, Ivan Balenović**  
Usporedba liđarskih i terenskih podataka pri izmjeri visine stabala u urbanim područjima  
*Comparison of Lidar and Field Data Survey in Measuring Tree Height in Urban Areas* 43
- Damir Ugarković, Ivica Tikvić, Martina Šporčić, Željko Španjol, Roman Rosavec**  
Utjecaj strukture sastojina na mikroklimu šumskih ekosustava hrasta crnike (*Quercus ilex* L.) i alepskoga bora  
(*Pinus halepensis* Mill.)  
*Effect of Stand Structure on Microclimate of Holm Oak (Quercus ilex L.) and Aleppo Pine (Pinus halepensis Mill.) Forest Ecosystems* 57

### Stručni radovi – Professional papers

- Aidin Parsakhoo, Majid Lotfalian**  
Locating Log Depots and Forest Roads Using a Weighted-Graph Optimization Algorithm  
*Određivanje najpovoljnijih mjesta pomoćnih stovarišta i najpovoljnijega pružanja šumske ceste ponderiranim grafičkim algoritmom optimizacije* 67
- Mario Šporčić, Matija Landekić, Mijo Čosić, Matija Bakarić**  
Inovacijske nagrade u šumarstvu  
*Innovation Awards in Forestry* 79
- Saša Bogdan, Ivica Čehulić, Mladen Ivanković**  
Začetak oplemenjivanja božićnih drvaca u Hrvatskoj  
*Initiation of Christmas Tree Breeding in Croatia* 91

### Osvrti – Comments

- Kruno Lepoglavec**  
3. hrvatski festival kiparenja motornom pilom, Salinovec, 17. i 18. lipnja 2017. 97
- Matija Bakarić**  
Međunarodno znanstveno savjetovanje »Šumsko inženjerstvo jugoistočne Europe – stanje i izazovi«, Mavrovo, Makedonija, 13. – 15. rujna 2017. 99
- Željko Tomašić**  
Međunarodno znanstveno savjetovanje FORMEC »Innovating the competitive edge: from research to impact in the forest value chain«, Braşov, Rumunjska, 25. – 29. rujna 2017. 103

### Fotografija na naslovnici (Cover photo)

Iznošenje drvnih sortimenata mobilnom šumskom žičarom (Snimio: M. Šporčić)  
*Timber extraction by mobile tower yarder (Photo: M. Šporčić)*

Uz prvog izdavača izdavanje ovog časopisa sufinanciralo je Ministarstvo znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske  
*Publishing of this journal is co-financed by funds from Croatian Ministry of Science and Education*

#### Pretplata: 150 kn godišnje (uzemnom plaćanje)

Primateelj: Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu,  
p.p. 422, HR-10002 Zagreb  
Žiro račun: 2360000-1101340148, poziv na broj: 2-02-01  
Kontakt: nms@sumfak.hr

#### Subscription: 30 € per year

Subscription payment on behalf of:  
Forestry Faculty of Zagreb University, P.O. Box 422  
HR-10002 Zagreb, CROATIA  
Swift Code: ZABA HR 2X, Account Number: 2500-03281485  
Details of Payment: 2-02-01  
Contact: nms@sumfak.hr

# Usporedba podataka prikupljenih različitim metodama terenske izmjere pri rekonstrukciji šumske ceste

Ivica Papa, Tibor Pentek, David Janeš, Tomislav Šerić, Dinko Vusić, Andreja Đuka

## Nacrta – Abstract

Šumske su ceste jednostavni građevinski objekti koji tijekom cijele godine omogućuju stalan i nesmetan promet motornim vozilima u prvom redu pri izvođenju radova vezanih uz održivo gospodarenje šumama. Optimalna mreža primarnih šumskih prometnica, ako je pravilno raspoređena i položena, osigurava ispunjenje svih zadaća propisanih šumskogospodarskim planovima uz najmanje troškove i uz najveći učinak.

Istraživanje je provedeno na šumskoj cesti »587 B1 004« stacionaže 15+20,16 hm u gorskim prebornim šumama GJ Belevine, u Zalesini, Nastavno-pokusnom šumskom objektu Šumarskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Primijenjene su dvije metode prikupljanja terenskih podataka pri izravnom trasiranju radi izrade glavnoga projekta rekonstrukcije spomenute šumske ceste. Prva, klasična metoda obuhvaćala je upotrebu mjernih uređaja teodolita DE-5A, nivelira Sokkia C330 i ostale mjerne opreme, dok je pri suvremenoj metodi prikupljanja terenskih podataka korištena radna stanica Sokkia Series 3030R.

Prikupljeni terenski podaci obrađeni su u računalnom programu »Cesta«, a za statističku obradu podataka korišten je računalni program STATISTICA 8. Statističkom analizom podataka prikupljenih različitim metodama terenske izmjere ustanovljeno je kako između podataka koji su povezani uz horizontalno i vertikalno razvijanje trase šumske ceste »587 B1 004« ne postoji statistički značajna razlika. Statistički značajna razlika pojavljuje se pri usporedbi površine poprečnih presjeka, volumena zemljanih masa i elemenata kolničke konstrukcije, što se dovodi u izravnu vezu s različitim načinom prikupljanja terenskih podataka pri likom izmjere poprečnih presjeka.

**Ključne riječi:** šumska cesta, rekonstrukcija, klasična i suvremena metoda, horizontalno i vertikalno razvijanje, poprečni presjeci, volumen zemljorada

## 1. Uvod i problematika istraživanja *Introduction and Scope of Research*

Analizirajući transport drva kroz povijest, Greulich (2002) zaključuje da se, neovisno o autorima, sve teorije transporta drva zasnivaju na dvjema međuovisnim podfazama:

- ⇒ primarnom transportu drva – privlačenju drva po šumskom bespuću, odnosno sekundarnim (traktorski putovi i vlake) ili tercijarnim (žične linije) šumskim prometnicama
- ⇒ sekundarnom transportu drva – daljinskom transportu drva po izgrađenim transportnim

sustavima (prijevoz drva po javnim i šumskim cestama ili željezničkim prugama), odnosno plovnim vodenim putovima.

Komercijalna uporaba kamiona za prijevoz drva u Europi (Brown 1949) započinje 1913. godine, dok se u hrvatsko šumarstvo počinju uvoditi između dvaju svjetskih ratova (Malnar 2000).

Daljinski je transport drva u Hrvatskoj prema Krpanu (1991) u potpunosti mehaniziran te se ponajprije odnosi na prijevoz kopnenim transportnim sustavima (kamionima 75 % i željeznicom 25 %), dok se tek neznatna količina drva transportira brodovima vodenim putem. Razloge prevladavanja kamionskoga

prijevoza drva istražuju Horvat i Šušnjar (2002) te zaključuju kako oni u prvom redu leže u razvoju kamiona i kamionskoga transporta u cjelini, gradnji takvih mreža javnih cesta koje omogućuju široku uporabu kamiona te u otvaranju šuma gradnjom šumskih kamionskih cesta.

Zbog, u današnje doba, izrazite prevlasti kamionskoga prijevoza drva u odnosu na sve ostale oblike transporta upravo je mreža šumskih prometnica prijeko potrebna infrastrukturu pri današnjem održivom gospodarenju šumskim ekosustavima.

### 1.1 Šumska prometna infrastruktura – *Forest Traffic Infrastructure*

Prema Zakonu o šumama (NN 140/05, 82/06, 129/08, 80/10, 124/10, 25/12, 68/12, 148/13, 94/14) šumsku prometnu infrastrukturu čine šumske prometnice (šumske ceste, šumske vlake i stalne žičare) i drugi objekti u šumama koji su namijenjeni gospodarenju i zaštiti šuma.

Važnost šumske prometne infrastrukture istražuje Bumber (2011) koji smatra da se suvremeno gospodarenje šumama u Republici Hrvatskoj, u okvirima pridobivanja drva, uz današnje primijenjene sustave pridobivanja drva, većinom temelji na motornim vozilima s kotačima. Isti autor ističe kako je današnja dinamika bilo koje vrste šumskih radova, a pogotovo transporta drva, nezamisliva bez primarne i sekundarne mreže šumskih prometnica.

Pentek (2012) modificira podjelu prema Greulichu (2002) te šumsku prometnu infrastrukturu, s obzirom na transport drva, dijeli na:

- ⇒ primarne šumske prometnice – javne i šumske ceste, željezničke pruge, odnosno plovne vodene putove (rijeke, jezera, mora, oceani), koji služe za sekundarni transport drva, odnosno za daljinski transport drva od pomoćnoga stovarišta pa do krajnjega korisnika
- ⇒ sekundarne šumske prometnice – traktorske putove, traktorske vlake i žične linije, kojima se odvija primarni transport, odnosno privlačenje drva vučom, izvoženjem ili iznošenjem.

Velik je broj šumarskih stručnjaka, operativaca i znanstvenika (Jeličić 1983, Šikić i dr. 1989, Krpan 1992, Potočnik 1996, 2007, Brinker i Tufts 1995, Pentek i dr. 2005, Enache 2009, Stampfer 2010, Dasović 2012, Sokolović i Bajrić 2013) u povijesti mehaniziranja transporta drva, koja je započela na prijelazu iz 19. u 20. stoljeće pojavom i napretkom industrijske revolucije, prepoznalo važnost i višestruke funkcije koje šumske ceste imaju u gospodarenju šumama.

### 1.2 Uspostavljanje i upravljanje primarnom šumskom prometnom infrastrukturom *Establishment and Management of Primary Forest Traffic Infrastructure*

Troškovi povezani sa šumskim transportnim sustavom te troškovi pridobivanja drva oduvijek su, poglavito zbog troškova izgradnje i održavanja mreže šumskih cesta te troškova privlačenja drva, imali značajan udio u ukupnoj strukturi troškova radova u šumarstvu te šumarski stručnjaci, već desetljećima, pokušavaju pronaći metode koje će pridonijeti njihovoj ukupnoj smanjenju (Najafi i dr. 2008). Tako Kirby i dr. (1986) navode da su održivost i isplativost operativnih planova gospodarenja šumama pod jakim utjecajem izgradnje i održavanja šumskih cesta te učinkovitosti šumske cestovne infrastrukture, dok Epstein i Sessions (2001) ističu kako su upravo planiranje, projektiranje i izgradnja šumskih cesta najskuplje i najdugotrajnije sastavnice cjelokupnoga sustava pridobivanja drva. Uspostavljanje je optimalne mreže primarne šumske prometne infrastrukture na terenu složen i dugotrajan postupak koji se sastoji od četiriju međusobno povezanih faza rada: 1. planiranje, 2. projektiranje (terenski i uredski dio), 3. izgradnja i 4. održavanje (Pentek i dr. 2006). Te su faze međusobno povezane i ovisne pa je nemoguće doseći svaku sljedeću fazu unutar navedenoga slijeda bez kvalitetno zgotovljene prethodne faze rada.

Uz spomenute se, uvijek prisutne radne faze uspostavljanja optimalne mreže primarne šumske prometne infrastrukture, povremeno i prema potrebi, pojavljuju još dvije radne faze: faza rekonstrukcije šumskih cesta (radi povećanja njihova standarda i kvalitete) i faza zatvaranja i stavljanja izgrađenih šumskih cesta izvan uporabe (uz revitalizaciju i restauraciju staništa, odnosno vraćanje staništa funkciji i obliku što bližemu onomu koje je imalo prije izgradnje šumske ceste) (Pentek 2012).

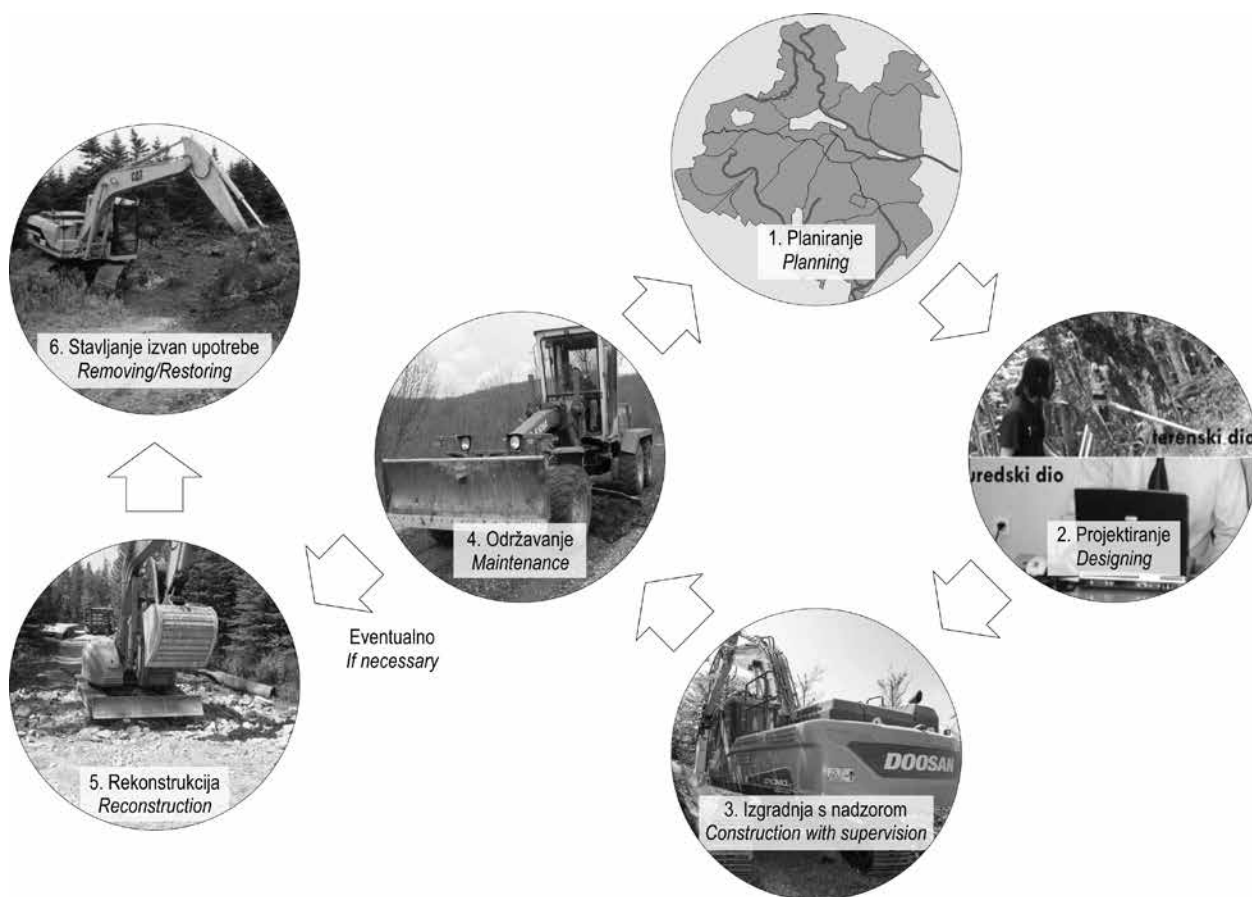
### 1.3 Rekonstrukcija šumskih cesta – *Forest Roads Reconstruction*

Tijekom životnoga ciklusa pojedine sastavnice primarne šumske prometne infrastrukture, kao jedna od faza rada pri upravljanju šumskim cestama, može se pojaviti rekonstrukcija.

Najčešćim razlozima rekonstrukcije šumskih cesta smatra se (Anon. 2000):

- ⇒ poboljšanje (unaprjeđenje) kolničke konstrukcije kako bi šumska cesta zadovoljila postojeće ili buduće prometno opterećenje
- ⇒ klizanje, raspadanje ili urušavanje pokosa nasipa i usjeka
- ⇒ radovi na sanaciji ili zamjeni objekata odvodnje
- ⇒ radovi na sanaciji ili zamjeni prijelaza vodotoka





**Slika 1.** Uspostavljanje i upravljanje optimalnom mrežom šumske prometne infrastrukture (Pentek 2012)

**Fig. 1** Establishment and management of optimal forest traffic infrastructure network (Pentek 2012)

- ⇒ zadovoljavanje svih zahtjeva za sigurnim prometovanjem
- ⇒ ostali nezadovoljavajući konstruktivni elementi koji zahtijevaju značajna poboljšanja.

Slično misle Ryan i dr. (2004) koji radove na rekonstrukciji dijele u tri glavne kategorije:

- ⇒ povećanje širine kolnika (kolničke konstrukcije)
- ⇒ promjena materijala (zastora) kolničke konstrukcije na određenoj dionici
- ⇒ zamjena postojećega sustava odvodnje i/ili značajnoga broja cijevnih propusta.

Kao glavne uvjete koje rekonstrukcija šumskih cesta mora ispunjavati navodi se (Anon. 2000):

- ⇒ poboljšanje konstruktivnih elemenata šumskih cesta kako bi ispunile sve ciljeve naravno tamo gdje je to ekonomski isplativo i okolišno prihvatljivo
- ⇒ sanacija postojeće nezadovoljavajuće situacije
- ⇒ zadovoljavanje važećih tehničkih uvjeta i standarda
- ⇒ sprječavanje štetnoga utjecaja na okoliš.

Ryan i dr. (2004) navode kako troškovi rekonstrukcije šumskih cesta nisu zanemarivi jer u većini slučajeva iznose 30 do 70 % ukupnih troškova izgradnje nove šumske ceste na istom području. Radi smanjenja tih troškova Swift i Burns (1999) predlažu da se rekonstrukcijom obuhvati samo dio trase šumske ceste, dok se dio trase šumske ceste može izmjestiti ili staviti izvan uporabe. Upravo pravovaljan odabir dionica šumskih cesta pogodnih za rekonstrukciju istražuju Grace i Clinton (2006), koji pišu o problemu identifikacije dionica šumskih cesta koje su kritične i koje trebaju rekonstrukciju, a na kojim će se navedeni postupak isplatiti s obzirom na visinu troškova te istodobno smanjiti štetni utjecaji na okoliš i povećati dodatne koristi od njihove buduće uporabe.

Istražujući tehnička svojstva šumskih cesta te stanje elemenata površinske i/ili podzemne odvodnje na šumskim cestama gospodarske jedinice Belevine, koja se nalazi u sklopu Nastavno-pokusnoga šumskoga objekta Zalesina, Papa i dr. (2015) zaključuju da su sve sastavnice primarne šumske prometne infrastrukture

istraživanoga područja nedovoljne širine planuma, dok elementi površinske i/ili podzemne odvodnje djelomično ili potpuno nedostaju. Temeljem iznesenoga te na tragu promišljanja Ryana i dr. (2004) kako se rekonstrukcija šumskih cesta može podijeliti u tri glavne kategorije radova, isti autori zaključuju da se u istraživanom području ne može govoriti o potrebi održavanja, već se radi o rekonstrukciji šumskih cesta.

## 2. Ciljevi istraživanja i metode rada *Research Goals and Working Methods*

### 2.1 Ciljevi istraživanja – *Research Goals*

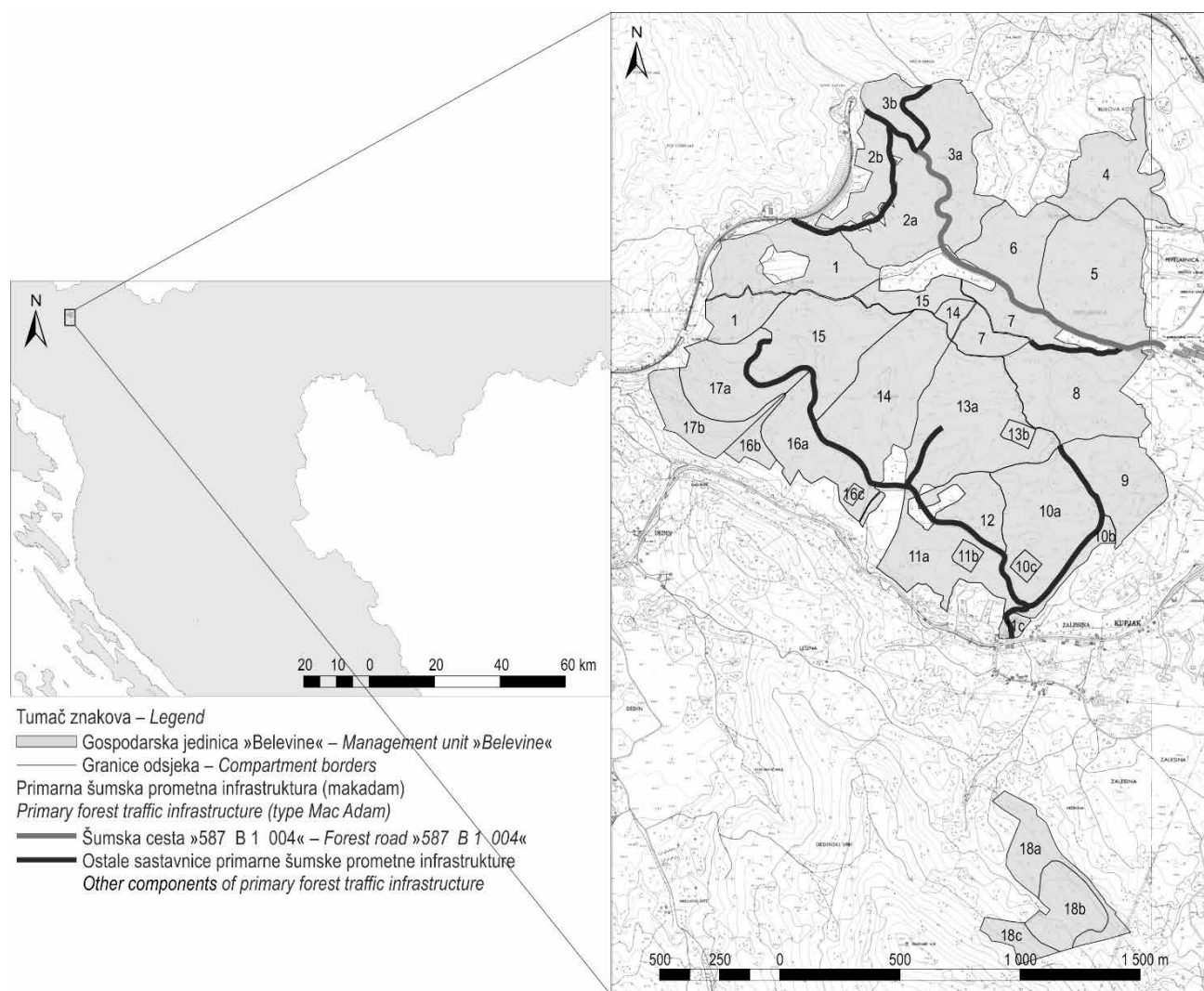
Ciljevi provedenoga istraživanja osmišljeni su u dva koraka:

⇒ istražiti razlike u obrađenim terenskim podacima prikupljenih klasičnom i suvremenom metodom terenske izmjere

⇒ utvrditi količinu radova potrebnih za rekonstrukciju šumske ceste »587 B1 004« vodeći računa o udovoljavanju svih konstruktivnih elemenata definiranih tehničkim uvjetima za gospodarske ceste (Šikić i dr. 1989).

## 3. Područje istraživanja – *Research Area*

Istraživanje je provedeno u GJ Belevine, jednoj od triju gospodarskih jedinica u sastavu Nastavno-pokusnoga šumskoga objekta Zalesina Šumarskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. U prebornim šumama



**Slika 2.** Zemljopisni položaj područja istraživanja s registrom primarne šumske prometne infrastrukture

**Fig. 2** Geographic position of the research area with the primary forest traffic infrastructure register



gorskoga reljefnoga područja GJ Belevine nalazi se 8175 km šumskih cesta, a objekt ovoga istraživanja bila je šumska cesta »587 B1 004« ukupne duljine 1520,16 m izmjerene klasičnom metodom terenske izmjere (slika 2).

GJ Belevine nalazi se u Gorskom kotaru na 45°26' zemljopisne širine i 14°53' zemljopisne dužine istočno od Greenwicha. Površina gospodarske jedinice, zajedno s pripadajućim dislociranim Dedinskim vrhom (18,40 ha; odsjeci 18a, 18b i 18c), iznosi 293,94 ha. Od toga je 283,20 ha obraslo, 5,88 ha je neobraslo, a 4,86 ha šumskoga tla neplodno je. Prosječna drvena zaliha gospodarske jedinice iznosi 445 m<sup>3</sup>/ha, s temeljnicom od 41,98 m<sup>2</sup>/ha (najviše je stabala u debljinskom razredu iznad 51 cm prsnoga promjera). Godišnji tečajni prirast iznosi 7,40 m<sup>3</sup>/ha.

Reljef je blago valovit i lepezasto izbrazdan. Ističu se dvije gorske glavice, tri manje zaravni te jedna uska dolina koja se provlači sjeveroistočnim dijelom odjela 7. Ostali dio gospodarske jedinice prostire se po blagim padinama izbrazdanim mnoštvom brdskih potocića, koji mikroreljefu daju specifičnu plastičnost. GJ Belevine leži na nadmorskoj visini od 720 do 870 m. Padine su većinom blagih do umjereno strmih strana (inklinacija do 20 °). Samo su strane korita povremenih brdskih potoka strme do vrlo strme, jer su potoci tijekom vremena usjekli duboka korita u debele naslage tla.

U najvećem dijelu GJ Belevine matični je supstrat izgrađen od permkarbonskih (paleozojskih) naslaga crnih brusilovaca, hrđastih škriljevaca, pješčenjaka i konglomerata. Geološka je podloga omogućila neobično jaku hidrografiju, tj. razvoj vodene mreže s obiljem izvora i vodotoka. Obilni izvori i jaki vodotoci uzrokuju u reljefu paleozojske podloge mnogobrojne dublje ili pliće jarke strmih strana sklonih odronjavanju. Sastojine gospodarske jedinice Belevine prostiru se na sedimentima paleozoika odnosno na podzolima, kiselim smeđim tlima i smeđim podzolastim tlima.

#### 4. Metode rada – *Working Methods*

Kako se ovdje nije radilo o planiranju i projektiranju nove šumske prometnice, preskočena je faza planiranja, prva faza uspostavljanja optimalne mreže primarne šumske prometne infrastrukture na terenu. Inicijalni zadatak na terenu bio je u već postojeću šumsku cestu »587 B1 004« uklopiti osovinski poligon koji nam je bio ishodište za prikupljanje svih terenskih podataka izravnim trasiranjem radi izrade glavnoga projekta rekonstrukcije šumske ceste »587 B1 004«.

#### 4.1 Prikupljanje terenskih podataka klasičnom metodom izmjere – *Classical Method of Field Data Survey*

Nakon postavljenoga osovinskoga poligona trebalo ga je zaobliti horizontalnim krivinama oblika kružnoga luka predstavljenim glavnim točkama (početak kružnoga luka /PL/, sredina kružnoga luka /SL/ i kraj kružnoga luka /KL/) u svakoj poligonnoj točki (tjemenu). Za taj je postupak iskolčenja na terenu upotrijebljen mjerni uređaj teodolit DE-5A, mjerna vrpca, trasirke, priručnik za iskolčenje kružnih krivina te pozicijski čelični vijci i markirni drveni kolčići kao terenske oznake.

Usporedno s iskolčenjem glavnih točaka horizontalnih krivina, međutočaka i detaljnih točaka izračunata je i stacionaža svakoga profila na šumskoj cesti. Razmak između profila na ravnim je dijelovima trase mjeren pomoću mjerne vrpce (s točnošću na centimetar), dok su za izračun stacionaže u horizontalnim kružnim lukovima korišteni podaci o vrijednostima duljine kružnih lukova.

Po završetku iskolčenja glavnih točaka horizontalnih krivina i izračuna stacionaže obavljena je nivelacija profila kojom je zapravo izračunavana visina pojedinoga profila na trasi šumske ceste. Pri tome je korišten mjerni uređaj nivelir Sokkia C330 i mjerna letva duljine 5,00 m. Nadmorska visina početne točke na šumskoj cesti »587 B1 004« predviđenoj za rekonstrukciju očitana je sa šumskogospodarske karte mjerila 1:25 000.

Naposlijetku, snimljeni su poprečni profili metodom ravnjače i podravnjače pri čemu su upotrijebljene dvije klasične trasirke s podjelom na 50 cm i jedna trasirka s ugrađenom libelom. Snimanje poprečnih profila obavljalo se okomito na uzdužnu os trase šumske ceste u pojasu širine osam metara sa svake strane, u pravilu na svaka dva metra ili po potrebi češće, ovisno o promjeni poprečnoga nagiba terena. Mjerena je visinska razlika pojedine točke u odnosu na prethodno snimljenu točku loma terena. Ujedno su vizualno procjenjivane građevinske kategorije materijala u svakom profilu šumske ceste. Primijenjena je ABC kategorizacija građevinskih kategorija materijala prilagođena šumarskomu graditeljstvu (Pentek 2012).

#### 4.2 Prikupljanje terenskih podataka suvremenom metodom izmjere – *Modern Method of Field Data Survey*

Kod suvremene je metode, nakon što je na terenu, odnosno na trasi šumske ceste »587 B1 004« predviđene za rekonstrukciju bio uklopljen osovinski poli-

gon te iskolčeni svi profili klasičnom metodom terenske izmjere, pristupljeno snimanju navedenih profila primjenom radne stanice Sokkia Series 3030R. Ujedno sa snimanjem svakoga profila, a okomito na uzdužnu os šumske ceste sniman je i poprečni izgled terena odnosno sve terenske točke u kojima je poprečni nagib terena mijenjao vrijednost u istom pojasa, širine osam metara na svaku stranu, kao što je to bio slučaj i pri izmjeri poprečnih profila klasičnom metodom.

### **4.3 Obrada terenskih podataka – Field Data Processing**

#### **4.3.1 Obrada terenskih podataka prikupljenih klasičnom metodom terenske izmjere – Processing of Field Data Collected by the Classical Method of Field Data Survey**

Snimljene točke prenesene su u računo te je uz pomoć računalnoga programa »Cesta« slovenske tvrtke Softdata obavljen unos svih profila snimljenih na trasi šumske ceste (početak, sredina i kraj kružnoga luka te međutočaka). Zatim su uneseni podaci o nadmorskoj visini svakoga profila (podaci dobiveni nivelacijom profila) te je naposljetku unesen poprečni izgled terena dobiven metodom ravnjače i podravnjače.

Nakon unosa svih terenskih podataka definirani su propisi kako bi se zadovoljili minimalno potrebni tehnički uvjeti koje su za gospodarske ceste propisali Šikić i dr. (1989).

#### **4.3.2 Obrada terenskih podataka prikupljenih suvremenom metodom terenske izmjere Processing of Field Data Collected by the Modern Method of Field Data Survey**

Obrada terenskih podataka prikupljenih mjernom stanicom Sokkia Series 3030R započela je u računalnom programu Prolink Version 1.15.Ink koji je razvila Sokkia Co, Ltd. Pomoću toga računalnoga programa svi podaci snimljeni mjernom stanicom Sokkia Series 3030R spremljeni u obliku datoteke (.sdr) prebačeni su u datoteku (.dxf) koja je čitljiva u računalnom programu »Cesta« slovenske tvrtke Softdata.

Nakon digitalnoga unosa terenskih podataka slijedila je njihova obrada tako da su sve terenske točke snimljene na terenu spajane terenskim linijama kako bi se dobio slojnički plan u širini od osam metara na svaku stranu od sredine šumske ceste, dok su položaji snimljenih terenskih profila ujedno predstavljali pozicije profila u računalnom programu »Cesta«. Zatim su definirani propisi jednako kao što je opisano u poglavlju 4.3.1.

### **4.4 Definiranje tehničkih svojstava šumske ceste »587 B1 004« u računalnom programu »Cesta« Defining of Technical Characteristics for the Forest Road »587 B1 004« in the Computer Program »Cesta«**

#### **4.4.1 Definiranje propisa i poprečnih presjeka Definition of Regulations and Cross-Sections**

Definirana širina planuma koja će se koristiti pri rekonstrukciji šumske ceste »587 B1 004« iznosi 4,50 m, od čega kolnik ima širinu 3,50 m, a bankina 0,50 m sa svake strane kolnika. Planum šumske ceste ima jednostrušan poprečni nagib min. 2 % (2,50 %) u skladu s poprečnim nagibom terena i odgovarajućim poprečnim presjekom, odnosno u smjeru prema odvodnom jarku.

Trapezni su odvodni jarci dimenzija 30 × 30 cm i nagiba kosina 1:1. Nagibi kod planiranih kosina nasipa projektirani su u omjeru 1:1 odnosno kod planiranih kosina iskopa 2:1. Za slučajeve susretanja vozila iz suprotnih smjerova, s obzirom na jedan prometni trak šumske ceste, a dvosmjerno prometovanje, na udaljenostima ne većima od 500 m projektirane su mimoilaznice. Širina planuma u mimoilaznici iznosi 6,00 m (proširenje kolnika je 2,50 m), puna duljina mimoilaznice je od 15,00 do 20,00 m, a duljina ulazne i izlazne rampe od 10,00 do 15,00 m.

#### **4.4.2 Definiranje nivelete u crtanom uzdužnom presjeku – Defining of Vertical Alignment in Longitudinal Section**

Prema pravilima struke radi minimiziranja količine iskopa i nasipa, te pazeći da transportna udaljenost materijala u dijagramu raspodjele zemljane mase ne prelazi vrijednost od 40 m, u crtani uzdužni presjek trase šumske ceste nacrtan prema podacima dobivenim terenskom izmjerom upotrebom klasične metode, uklopljena je nezaobljena niveleta šumske ceste. Poslije su, kako bi se dobio konačni izgled vertikalnoga razvijanja trase odnosno zaobljena niveleta, lomovi nezaobljene nivelete – vertikalna tjemena zaobljavana vertikalnim krivinama odabranih radijusa (vođeci računa o udovoljavanju važećim tehničkim uvjetima).

Potom je izračunata visinska i horizontalna udaljenost svakoga loma vertikalne krivine od najbližega profila na trasi šumske ceste. Tako dobivena visinska i horizontalna razlika pribrajana je ili oduzimana od kota istoimenih profila na trasi šumske ceste dobivenih suvremenom metodom terenske izmjere. Ovako opisanom načinom dobivene su kote lomova nivelete koje su u relativnom koordinatnom sustavu od najbližih profila udaljene za istu vrijednost kao i kod klasične metode prikupljanja terenskih podataka.



**Tablica 1.** Razlike u vrijednostima vršnih kutova ( $\alpha$ ) u horizontalnim krivinama šumske ceste »587 B1 004«

**Table 1** Differences in deflection angle ( $\alpha$ ) value in horizontal curves of the forest road »587 B1 004«

| Redni broj tjemena<br><i>Number of<br/>polygon point</i> | Vršni kut $\alpha$<br><i>Deflection angle <math>\alpha</math></i> | Vršni kut $\alpha$<br><i>Deflection angle <math>\alpha</math></i> | Razlika u vršnim kutovima<br>Klasična < Suvremena<br><i>Differences<br/>in deflection angle<br/>Classical &lt; Modern</i> | Razlika u vršnim kutovima<br>Klasična > Suvremena<br><i>Differences<br/>in deflection angle<br/>Classical &gt; Modern</i> |
|--|---|---|---|---|
|  | Klasična metoda<br><i>Classical Method</i>                        | Suvremena metoda<br><i>Modern Method</i>                          |   |   |
| 1  | –   | –   | –   | –   |
| 2  | –13°30'00"  | –13°37'01"  | 00°07'01"   | –   |
| 3  | –17°54'01"  | –17°51'05"  | –   | 00°02'56"   |
| 4  | –15°14'00"  | –15°32'12"  | 00°18'12"   | –   |
| 5  | 19°21'57"   | 19°16'30"   | –   | 00°05'27"   |
| 6  | 22°37'57"   | 22°30'55"   | –   | 00°07'02"   |
| 7  | –8°54'00"   | –9°10'06"   | 00°16'06"   | –   |
| 8  | 20°23'59"   | 20°25'20"   | 00°01'21"   | –   |
| 9  | –18°18'02"  | –18°14'25"  | –   | 00°03'37"   |
| 10   | 14°36'00"   | 14°33'54"   | –   | 00°02'06"   |
| 11   | –2°12'00"   | –2°15'18"   | 00°03'18"   | –   |
| 12   | 21°20'00"   | 22°21'16"   | 01°01'16"   | –   |
| 13   | –14°20'03"  | –14°28'42"  | 00°08'39"   | –   |
| 14   | –23°30'03"  | –23°24'45"  | –   | 00°05'18"   |
| 15   | 10°30'01"   | 10°27'16"   | –   | 00°02'45"   |
| 16   | 18°00'02"   | 17°37'56"   | –   | 00°22'06"   |
| 17   | 13°27'59"   | 13°50'13"   | 00°22'14"   | –   |
| 18   | 26°25'59"   | 26°25'02"   | –   | 00°00'57"   |
| 19   | –22°22'01"  | –22°23'29"  | 00°01'28"   | –   |
| 20   | –17°28'00"  | –17°07'30"  | –   | 00°20'30"   |
| 21   | –14°18'00"  | –14°06'21"  | –   | 00°11'39"   |
| 22   | 18°02'01"   | 18°06'49"   | 00°04'48"   | –   |
| 23   | 22°50'01"   | 23°18'49"   | 00°28'48"   | –   |
| 24   | 26°36'01"   | 26°29'14"   | –   | 00°06'47"   |
| 25   | 33°30'00"   | 33°22'02"   | –   | 00°07'58"   |
| 26   | –52°30'03"  | –52°26'25"  | –   | 00°03'38"   |
| 27   | –59°12'04"  | –59°20'59"  | 00°08'55"   | –   |
| 28   | 57°14'02"   | 56°44'38"   | –   | 00°29'24"   |
| 29   | 46°10'01"   | 47°38'05"   | 01°28'04"   | –   |
| 30   | –40°48'00"  | –39°22'22"  | –   | 01°25'38"   |
| 31   | –47°47'58"  | –46°59'51"  | –   | 00°48'07"   |
| 32   | –34°39'58"  | –34°32'46"  | –   | 00°07'12"   |
| 33   | –34°13'58"  | –33°33'41"  | –   | 00°40'17"   |
| 34   | –32°12'01"  | –32°53'26"  | 00°41'25"   | –   |
| 35   | 50°17'58"   | 50°44'32"   | 00°26'34"   | –   |
| 36   | –   | –   | –   | –   |
| Ukupno – Total   |   |   | 5°38'09"  | 5°13'24"  |

## 5. Rezultati s raspravom – Results with Discussion

### 5.1 Razlike pri horizontalnom razvijanju *Differences in Horizontal Alignment*

Na trasi šumske ceste »587 B1 004« predviđene za rekonstrukciju projektirana su 34 horizontalna kružna luka (postavljeno je 36 poligonih točaka) s rasponom radijusa od minimalnih 16,00 m u tjemenu T 26 i T 27 (radi se o spojenim krivinama istoga smjera) do maksimalnih 650 m u tjemenu T 11. Korišteni minimalni radijusi u horizontalnim krivinama T 26 i T 27 veći su od minimalno (iznimno) propisanih tehničkim uvjetima za gospodarske ceste (Šikić i dr. 1989) koji iznose 12 m.

#### 5.1.1 Razlike u vrijednostima vršnih kutova *Differences in Deflection Angle Value*

U tablici 1 prikazane su vrijednosti vršnih kutova  $\alpha$ , tj. kutova skretanja za svaku horizontalnu krivinu

na trasi šumske ceste »587 B1 004«. Vidljivo je kako najmanja razlika u horizontalnim kutovima mjerenim klasičnom i suvremenom metodom terenske izmjere izračunata za tjeme T 18 i iznosi  $00^{\circ}00'57''$ , dok najveća razlika iznosi  $01^{\circ}28'04''$ , a dobivena je u tjemenu T 29. Uprosječena razlika u vršnim kutovima svih horizontalnih krivina iznosi  $00^{\circ}19'10''$ .

Zanimljiva je i činjenica kako je razlika, u vršnim kutovima kod kojih je klasična metoda terenske izmjere dala manje ( $5^{\circ}38'09''$ ) odnosno veće vrijednosti ( $5^{\circ}13'24''$ ), vrlo mala i iznosi  $00^{\circ}24'45''$ . Sukladno navedenom kod preklapanja podataka vezanih uz horizontalno razvijanje trase u konačnici nisu uočene velike razlike odnosno razlike u vršnim kutovima nisu se akumulirale, već su se gotovo poništavale iz jedne horizontalne krivine u drugu.

Kako bi se utvrdila statistička značajnost razlike u vršnim kutovima ( $\alpha$ ), proveden je t-test za zavisne uzorke koji pokazuje kako razlike u vršnim kutovima

**Tablica 2.** t-test razlike vršnih kutova ( $\alpha$ ) na trasi šumske ceste »587 B1 004«

**Table 2** t-test for deflection angles ( $\alpha$ ) differences on the forest road »587 B1 004«

| Varijable<br><i>Variables</i>   | t-test za zavisne uzorke – <i>t-test for Dependent Samples</i><br>Razlike su značajne kod $p < 0,05000$ – <i>Differences are significant at <math>p &lt; 0.05000</math></i> |  |          |              |                       |          |           |          |
|---|---|--|----------|--------------|-----------------------|----------|-----------|----------|
|   | Aritmetička sredina<br><i>Mean</i>  | Standardna devijacija<br><i>Std. dv.</i> | <i>N</i> | <i>Diff.</i> | <i>Std. dv. diff.</i> | <i>t</i> | <i>df</i> | <i>p</i> |
| Vršni kutovi mjereni klasičnom metodom<br><i>Deflection angles measured by classical method</i> | 26,200  | 14,671                                   |          |              |                       |          |           |          |
| Vršni kutovi mjereni suvremenom metodom<br><i>Deflection angles measured by modern method</i>   | 26,212  | 14,625                                   | 34       | –0,012       | 0,499                 | –0,142   | 133       | 0,888    |

**Tablica 3.** t-test razlike udaljenosti između susjednih profila na trasi šumske ceste »587 B1 004«

**Table 3** t-test for differences in distance between adjacent profiles on the forest road »587 B1 004«

| Varijable<br><i>Variables</i>  | t-test za zavisne uzorke – <i>t-test for Dependent Samples</i><br>Razlike su značajne kod $p < 0,05000$ – <i>Differences are significant at <math>p &lt; 0.05000</math></i> |  |          |              |                       |          |           |          |
|--|---|--|----------|--------------|-----------------------|----------|-----------|----------|
|  | Aritmetička sredina<br><i>Mean</i>  | Standardna devijacija<br><i>Std. dv.</i> | <i>N</i> | <i>Diff.</i> | <i>Std. dv. diff.</i> | <i>t</i> | <i>df</i> | <i>p</i> |
| Udaljenost između susjednih profila mjerenih klasičnom metodom<br><i>Distance between adjacent profiles measured by classical method</i> | 9,683   | 2,891                                    |          |              |                       |          |           |          |
| Udaljenost između susjednih profila mjerenih suvremenom metodom<br><i>Distance between adjacent profiles measured by modern method</i>   | 9,674   | 2,893                                    | 157      | 0,008        | 0,099                 | 1,021    | 156       | 0,309    |



( $\alpha$ ) prikupljenih klasičnom i suvremenom metodom nisu statistički značajne. Rezultati t-testa prikazani su u tablici 2.

### 5.1.2 Razlike u vrijednostima stacionaže pojedinoga profila – *Differences in Stationing of Specific Profiles*

Na ukupnoj duljini trase šumske ceste »587 B1 004« iskolčeno je ukupno 157 profila ukupne stacionaže od 1520,16 m (klasična metoda terenske izmjere), tj. 1518,89 m (moderna metoda terenske izmjere). Uviđom u horizontalno razvijanje trase uočeno je da je udio krivina (102 profila), na trasi šumske ceste predviđene za rekonstrukciju, veći nego li pravaca (56 profila).

Kako razlika u stacionaži šumske ceste »587 B1 004« mjerene klasičnom odnosno suvremenom metodom terenske izmjere iznosi 1,27 m (0,08 % u odnosu na ukupnu duljinu), možemo reći da je s gledišta šumske cestogradnje navedena razlika zanemariva, što je u konačnici potvrđeno i t-testom kojim je uspoređivana statistička značajnost razlike udaljenosti između dva susjednih profila (tablica 3).

### 5.2 Razlike pri vertikalnom razvijanju *Differences in Vertical Alignment*

Niveleta trase projektirane šumske ceste nalazi se, općenito gledajući, u minimalnom padu jer se od početnih 789,40 m nadmorske visine spušta i završava na 789,26 m (789,23 m suvremena metoda) nadmorske

visine. Pravci između završetaka i početaka nasuprotnih vertikalnih krivina (konkavnih i konveksnih i obrnuto) projektirani su s minimalnom duljinom od 30,00 m.

Kako prema važećim tehničkim uvjetima (Šikić i dr. 1989)

⇒ maksimalni uzdužni nagib nivelete kod šumskih cesta iznosi 12 %, a u iznimnim slučajevima, na pravcu i na kratkim udaljenostima dopuštene su vrijednosti do 20 %, dok minimalni uzdužni nagib iznosi 0,5 %

⇒ minimalne vrijednosti radijusa konveksnih krivina iznose 400 m odnosno 200 m za konkavne krivine, vidljivo je da sve tehničke značajke vezane uz vertikalno razvijanje trase (tablica 4) udovoljavaju minimalno potrebnima.

Vrlo slično podacima koji su prikazivali horizontalno razvijanje šumske ceste »587 B1 004« i kod podataka vezanih uz vertikalno razvijanje šumske ceste »587 B1 004« nije uočena statistički značajnija razlika (tablica 5).

### 5.3 Razlike u površini poprečnih presjeka *Differences in Cross Section areas*

Računalni program »Cesta« pri izračunu površina poprečnih presjeka izračunava vrijednosti površina iskopa, nasipa, podloge i bankine, odvodnih jaraka i tampona. Pomoću vrijednosti navedene površine računalni program, u kasnijoj obradi, izračunava volumen zemljanih masa koji u konačnici, s ostalim

**Tablica 4.** Osnovna obilježja zaobljene nivelete šumske ceste »587 B1 004«

**Table 4** Basic features of vertical alignment on the forest road »587 B1 004«

| Osnovna obilježja zaobljene nivelete<br><i>Basic features of vertical alignment</i>                  | Klasična metoda terenske izmjere<br><i>Classical method of field survey</i> | Suvremena metoda terenske izmjere<br><i>Modern method of field survey</i> |
|--|---|---|
| Prosječan nagib, % – <i>Average slope, %</i>   | –0,009  | –0,011  |
| Najveći nagib – <i>Maximum slope</i>   | +5,23 % (72,59 m)   | +5,27 % (72,51 m)   |
|  | –9,11 % (137,11 m)  | –9,08 % (136,83 m)  |
| Najmanji nagib – <i>Minimum slope</i>  | +1,53 % (54,18 m)   | +1,75 % (47,44 m)   |
|  | –1,11 % (86,36 m)   | –0,93 % (86,41 m)   |
| Prosječna duljina loma nivelete, m<br><i>The average length of vertical alignment, m</i>             | 101,34  | 101,26  |
| Najmanje vrijednosti radijusa konveksnih krivina<br><i>Minimum values of radius in convex curves</i> | 500 m u tjemenima 12 i 15 – <i>500 m in vertical curve 12 and 15</i>        |   |
| Najmanje vrijednosti radijusa konkavnih krivina<br><i>Minimum values of radius in concave curves</i> | 800 m u tjemenu 13 – <i>800 m in vertical curve 13</i>                      |   |
| Ukupno isprojektiranih vertikalnih krivina<br><i>Projected vertical curves in total</i>              | 13  | 13  |

**Tablica 5.** t-test razlike u nadmorskoj visini između susjednih profila na trasi šumske ceste »587 B1 004«**Table 5** t-test for differences in altitude between adjacent profiles on the forest road »587 B1 004«

| Varijable – Variables  | t-test za zavisne uzorke – t-test for Dependent Samples                              |  |          |              |                       |          |           |          |
|--|--|--|----------|--------------|-----------------------|----------|-----------|----------|
|  | Razlike su značajne kod $p < 0,05000$ – Differences are significant at $p < 0.05000$ |  |          |              |                       |          |           |          |
|  | Aritmetička sredina<br><i>Mean</i>   | Standardna devijacija<br><i>Std. dv.</i> | <i>N</i> | <i>Diff.</i> | <i>Std. dv. diff.</i> | <i>t</i> | <i>df</i> | <i>p</i> |
| Razlika u nadmorskoj visini između susjednih profila mjerenih klasičnom metodom<br><i>Differences in altitude between adjacent profiles measured by classical method</i> | –0,001   | 0,501                                    |          |              |                       |          |           |          |
| Razlika u nadmorskoj visini između susjednih profila mjerenih suvremenom metodom<br><i>Differences in altitude between adjacent profiles measured by modern method</i>   | –0,001   | 0,483                                    | 157      | 0,0002       | 0,134                 | 0,018    | 156       | 0,986    |

**Tablica 6.** Ukupna površina poprečnih presjeka na trasi šumske ceste »587 B1 004« i rezultati t-testa koji je proveden za razlike u površini poprečnih presjeka za sve profile**Table 6** Cross-section areas in total on the forest road »587 B1 004« and results of t-test for differences in cross-section areas for all profiles

|  | Klasična metoda terenske izmjere<br><i>Classical method of field survey</i> | Suvremena metoda terenske izmjere<br><i>Modern method of field survey</i> | Razlika u površini<br><i>Differences in area</i> | Rezultati t-testa<br><i>t-test results</i> |
|--|---|---|--|--|
| Ukupna površina iskopa, m <sup>2</sup><br><i>Value of cut area in total, m<sup>2</sup></i>                                   | 98,89   | 80,23   | 18,66  | $p = 0,1251$                               |
| Ukupna površina nasipa, m <sup>2</sup><br><i>Value of fill area in total, m<sup>2</sup></i>                                  | 312,81  | 254,20  | 58,61  | $p = 0,0009$                               |
| Ukupna površina (podloga + bankina), m <sup>2</sup><br><i>Value of (bases + road shoulders) area in total, m<sup>2</sup></i> | 34,76   | 34,76   | 0  | –  |
| Ukupna površina odvodnih jaraka, m <sup>2</sup><br><i>Value of side ditches area in total, m<sup>2</sup></i>                 | 25,46   | 24,54   | 0,92   | $p = 0,0014$                               |
| Ukupna površina tampona, m <sup>2</sup><br><i>Value of buffer area in total, m<sup>2</sup></i>                               | 157,00  | 155,91  | 1,09   | $p = 0,0212$                               |

Razlike su značajne kod  $p < 0,05000$  – Differences are significant at  $p < 0.05000$  $N = 157$ 

utjecajnim čimbenicima, određuje cijenu koštanja pojedine šumske ceste.

Vidljivo je kako se prve statistički značajne razlike između terenskih podataka dobivenih različitim (klasična, suvremena) metodama terenske izmjere pojavljuju prilikom izračuna površine poprečnih presjeka (tablica 6), što se dovodi u izravnu vezu s drugačijim načinima terenske izmjere poprečnih profila. Naime, prilikom izmjere poprečnih presjeka klasičnom metodom upotrebljavane su tri trasirke,

dvije s podjelom na 5 cm i jedna s ugrađenom libelom, tzv. metoda ravnjače i podravnjače. Kako se kod klasične metode izmjera poprečnih presjeka obavlja s točnošću na 5 cm, a kod suvremena metode točnost je izražena u milimetrima, pretpostavka je da je klasična metoda nepreciznija metoda terenske izmjere od suvremene metode, što je u konačnici i u uzročno-posljedičnoj vezi s dobivenom statistički značajnom razlikom u površini iskopa, nasipa, odvodnih jaraka i tampona.

**Tablica 7.** Razlika u ukupnim površinama poprečnih presjeka na trasi šumske ceste »587 B1 004« i rezultati t-testa koji je proveden za razlike u površini poprečnih presjeka za sve profile

**Table 7** Difference in cross-section areas in total on the forest road »587 B1 004« and results of t-test for differences in cross-section areas for all profiles

|  | Klasična metoda terenske izmjere<br><i>Classical method of field survey</i> | Suvremena metoda terenske izmjere<br><i>Modern method of field survey</i> | Razlika u površini<br><i>Differences in area</i> | Rezultati t-testa<br><i>t-test results</i> |
|--|---|---|--|--|
| Ukupni volumen iskopa, m <sup>3</sup><br><i>Value of cut volume in total, m<sup>3</sup></i>          | 3027,95   | 2445,69   | 582,26   | $p = 0,000022$                             |
| Ukupni volumen nasipa, m <sup>3</sup><br><i>Value of fill volume in total, m<sup>3</sup></i>         | 966,10  | 789,44  | 176,66   | $p = 0,0351$                               |
| Ukupni volumen tampona, m <sup>3</sup><br><i>Value of buffer volume in total, m<sup>3</sup></i>      | 5625,94   | 5588,43   | 37,51  | $p = 0,0074$                               |
| Ukupni volumen posteljice, m <sup>3</sup><br><i>Value of subgrade volume in total, m<sup>3</sup></i> | 7802,88   | 7763,16   | 39,72  | $p = 0,0201$                               |

Razlike su značajne kod  $p < 0,05000$  – Differences are significant at  $p < 0.05000$   
 $N = 157$

#### 5.4 Volumen zemljanih masa i volumen elemenata kolničke konstrukcije – Volume of Erath-Mass and Volume of Road Construction Elements

Naposljetku su analizirani podaci o volumenu zemljanih masa i volumenu onih elemenata kolničke konstrukcije koji u konačnici definiraju cijenu koštanja rekonstruirane šumske ceste. Volumen koji računalni program »Cesta« izračunava, a koji ulazi u izračun dokaznice mjera i troškovnika jest:

- ⇒ volumen iskopa (sadrži i podatke u volumenu odvodnih jaraka)
- ⇒ volumen nasipa
- ⇒ volumen tampona
- ⇒ volumen posteljice.

Kako spomenute vrijednosti volumena, s ostalim utjecajnim čimbenicima, uvjetuju cijenu koštanja pojedine šumske ceste, a vrlo su usko povezane s površinom poprečnih presjeka, one su obrađene radi utvrđivanja međusobnih razlika. Zanimljiva je činjenica da sve četiri analizirane vrijednosti volumena pokazuju da postoji statistički značajna razlika između vrijednosti volumena dobivene pomoću podataka prikupljenih klasičnom odnosno suvremenom metodom terenske izmjere (tablica 7). Ovakvi rezultati u ispitivanom volumenu ne iznenađuju s obzirom na to da su se i razlike u površini poprečnih presjeka pokazale statistički značajnima, a držimo da razlozi ovakvih rezultata u prvom redu leže u načinu izmjere poprečnih presjeka opisanih u poglavlju 5.3.

#### 6. Zaključci – Conclusions

Projektiranje se šumskih cesta, kao druga u slijedu od četiriju uvijek prisutnih radnih faza uspostavljanja i upravljanja optimalnom mrežom šumskih cesta na terenu, dijeli na: 1. prikupljanje općih i tehničkih podataka i 2. trasiranje. Trasiranje se sastoji od: 1. terenskoga prikupljanja podataka (terenske izmjere) i 2. uredske obrade i ispisa podataka. Radi povećanja kakvoće glavnih projekata šumskih cesta pri izravnom trasiranju, koje je karakteristično za šumske ceste, primjenjuju se različite metode terenske izmjere.

Usporedba klasične i suvremene metode prikupljanja terenskih podataka za potrebe rekonstrukcije šumske ceste pokazuje da je suvremena metoda funkcionalniji izbor (potreban manji broj pomoćnih radnika na terenu i brže prikupljanje terenskih podataka). Jednostavniji je (automatski) unos podataka u osobno računalo, odnosno računalni program »Cesta«.

Obje su metode prikupljanja terenskih podataka, i klasična i suvremena, s gledišta horizontalnoga i vertikalnoga razvijanja trase, dale vrlo slične podatke i nije zamićeno statistički značajno odstupanje kod spomenutih podataka.

Najveće razlike među prikupljenim terenskim podacima uočene su pri obradi podataka vezanih uz snimanje poprečnih presjeka na trasi šumske ceste predviđene za rekonstrukciju, što se dovodi u izravnu vezu s prikupljanjem terenskih podataka. Naime, klasičnom metodom poprečni izgled terena prikuplja se metodom ravnjače i podravnjače s 5 cm točnošću,



dok je suvremenom metodom terenske izmjere spomenuta točnost subcentimetarska, što smatramo glavnim razlogom odstupanja terenskih podataka.

Kako su najveće razlike između terenskih podataka prikupljenih klasičnom i suvremenom metodom terenske izmjere uočene pri snimanju poprečnih presjeka, smatramo kako bi navedene razlike bile puno manje pri prikupljanju podataka tijekom projektiranja nove trase šumske ceste u odnosu na podatke koji su analizirani u ovom radu, a vezani su uz rekonstrukciju šumske ceste »587 B1 004«. Spomenutu tvrdnju potkrepljujemo činjenicom kako su promjene u poprečnim nagibima terena, u prosječnim terenskim uvjetima, manje izražene pri projektiranju nove šumske ceste u odnosu na rekonstrukciju postojeće.

Rekonstrukcijom šumske ceste »587 B1 004« u GJ Belevine podiže se njezin standard i izvedbom gornjega ustroja od asfalta omogućuje se promet u gotovo svim vremenskim uvjetima i smanjuju se mogućnosti oštećivanja gornjega i donjega ustroja šumske ceste.

### Zahvala – Acknowledgement

Istraživanje je provedeno u sklopu projekta »Optimizacija sustava pridobivanja drva i šumske prometne infrastrukture na strateško-taktičkoj razini planiranja« koji sufinancira Ministarstvo poljoprivrede sredstvima naknade za korištenje općekorisnih funkcija šuma.

## 7. Literatura – References

Anon., 2000: Forest roads manual. Oregon department of forestry, State forest program, 1–207.

Brinker, R. W., R. A. Tufts, 1995: Forest Roads And Construction Of Associated Water Diversion Devices. Alabama cooperative extension system, ANR – 0916, 1–4.

Brown, N. C., 1949: Logging. The principle and methods of harvesting timber in the United States and Canada. John Wiley & Sons, Inc. New York, Chapman & Hall, Ltd, London.

Bumber, Z., 2011: Primjena GIS-a pri analizi otvorenosti G.J. Šiljakovačka Dubrava II kroz strukturu prihoda drva u prostoru i vremenu. Magistarski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–139.

Dasović, K., 2012: Izrada katastra sekundarnih šumskih prometnica i analiza sekundarne otvorenosti G.J. »Bovan-Jelar« i G.J. »Križići«, Šumarije Perušić. Magistarski specijalistički rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–109.

Enache, A., 2009: Elaboration of a Forest Road Network in Trauch Forest District, Wittgenstein Forest Administration, Hohenberg, Austria. Master Thesis. University of Natural Resources and Life Sciences – BOKU, Vienna, 1–67.

Epstein, R., J. Sessions, 2001: PLANEX: A System to Identify Landing Locations and Access. 11<sup>th</sup> International Mountain Logging and Pacific Northwest Skyline Symposium, Seattle, Washington, USA.

Grace, J. M., B. D. Clinton, 2006: Forest road management to protect soil and water. American society of agricultural and biological engineers (ASABE) annual meeting presentation, 1–14.

Greulich, F., 2002: Transportation Networks in Forest Harvesting: Early Development of the Theory. Proceedings of the International Seminar on New Roles of Plantation Forestry Requiring Appropriate Tending and Harvesting Operations, September 29 – October 5. The Japan Forest Engineering Society & IUFRO 3.04/3.06/3.07, Tokyo, Japan, 1–9.

Horvat, D., M. Šušnjar, 2002: Istraživanje tehničkih značajki šumskog kamionskog skupa Scania, Šumarski fakultet, ZIŠ, 1–25.

Jeličić, V., 1983: Šumske ceste i putevi. Samoupravna interesna zajednica odgoja i usmjerenog obrazovanja šumarstva i drvne industrije, Zagreb, 1–193.

Kirby, M., W. Hager, W. Wong, 1986: Simultaneous Planning of Woodland Management and Transportation Alternatives. TIMS Stud. Manage. Sci., 21: 371–387.

Krpan, A.P.B., 1991: Daljinski transport drvne mase u Hrvatskoj – faktori razvoja i stanje. Drvna industrija, 42(3–4): 49–54.

Krpan, A. P. B., 1992: Iskorišćivanje šuma. Šume u Hrvatskoj, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Hrvatske šume j. p., Zagreb, 153–170.

Malnar, M., 2000: Tehničkotehnološki čimbenici prijevoza drva u brdsko-gorskim uvjetima na primjeru šumarije Prezid, Magistarski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–124.

Najafi, A., H. Sobhani, A. Saeed, M. Makhdom, M.M. Mohajer, 2008: Planning and Assessment of Alternative Forest Road and Skidding Networks. Croatian Journal of Forest Engineering, 29(1): 63–73.

Papa, I., T. Pentek, H. Nevečerel, K. Lepoglavec, A. Đuka, B. Šafran, S. Risočić, 2015: Raščlamba tehničkih značajki i sustava odvodnje postojećih šumskih cesta radi utvrđivanja potrebe njihove rekonstrukcije – studija slučaja za g.j. »Belevine« NPŠO Zalesina. Šumarski list, 139 (11–12): 497–517.

Pentek, T., 2012: Šumske prometnice. Skripta, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–373.

Pentek, T., D. Pičman, H. Nevečerel, 2005: Planiranje šumskih prometnica – postojeća situacija, determiniranje problema i smjernice budućeg djelovanja. Nova mehanizacija šumarstva, 26(1): 55–63.

Pentek, T., D. Pičman, H. Nevečerel, 2006: Uspostava optimalne mreže šumskih cesta na terenu – smjernice unapređenja pojedine faze rada. Glasnik za šumske pokuse, posebno izdanje, 5: 647–663.

Potočnik, I., 1996: Mnogonamenska raba gozdnih cest kot kriterij za njihovo kategorizacijo. Disertacija, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani, 1–241.

Potočnik, I., 2007: Gozdne prometnice. Skripta, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani, 1–221.

Ryan, T., H. Phillips, J. Ramsay, J. Dempsey, 2004: Forest Road Manual. COFORD, Ireland, 1–170.

Šikić, D., B. Babić, D. Topolnik, I. Knežević, D. Božičević, Ž. Švabe, I. Piria, S. Sever, 1989: Tehnički uvjeti za gospodarske ceste. Znanstveni savjet za promet Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, Zagreb, 1–78.

Sokolović, Dž., M. Bajrić, 2013: Otvaranje šuma. Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu, 1–248.

Stampfer, K., 2010: Forest Engineering – Course Script. Institute of Forest Engineering, Department of Forest and Soil Sciences, University of Natural Resources and Life Sciences – BOKU, Vienna, Austria.

Swift, L.W., R.G. Burns, 1999: The three R's of roads. Journal of Forestry, 97(8): 40–44.

\* Zakon o šumama (NN 140/05, 82/06, 129/08, 80/10, 124/10, 25/12, 68/12, 148/13)

---

## Abstract

---

### *Comparison of Data Collected by Different Methods of Field Survey During the Reconstruction of Forest Road*

*Forest roads are simple construction units that enable continuous and unobstructed traffic of motor vehicles throughout the year, primarily concerning sustainable forest management. By establishing an optimal network of primary forest roads, if suitably arranged and laid out, they enable the fulfilment of the tasks prescribed by the Management Plan at minimum cost and with maximum efficiency.*

*The research was carried out on the forest road »587 B1 004« of the station label 15+20.16 hm in the hilly and pre-mountainous forests in the Management Unit »Belevine« of the Forest Training and Research Center Zalesina of the Faculty of Forestry, University of Zagreb. Two different ways of collecting field data were used to create the Main Project for the reconstruction of the mentioned forest road. The first, classical method included the use of theodolite measuring device, levelling device and other measuring equipment, while the Sokkia Series 3030R workstation was used in the second, modern way of collecting field data.*

*The collected field data were processed in the computer program »Cesta«, while the statistical data processing was performed using the computer program STATISTICA 8. Statistical analysis of the data collected by two different methods of field measurements revealed that there is no statistically significant difference between the data related to the horizontal and vertical development of the forest road »587 B1 004«. A statistically significant difference occurs when comparing the cross-sectional areas and the volume of earth masses and pavement structures, which is directly linked to the different way and accuracy of collecting field data when measuring cross-sections.*

*Keywords: forest road, reconstruction, classical and modern method, horizontal and vertical alignment, cross-sections, earth-mass volume*

---

Adrese autorâ – *Authors' addresses:*

Dr. sc. Ivica Papa

e-pošta: ipapa@sumfak.hr

Prof. dr. sc. Tibor Pentek

e-pošta: tpentek@sumfak.hr

David Janeš, mag. ing. silv.\*

e-pošta: djanes@sumfak.hr

Dr. sc. Dinko Vusić

e-pošta: dvusic@sumfak.hr

Dr. sc. Andreja Đuka

e-pošta: aduka@sumfak.hr

Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Zavod za šumarske tehnike i tehnologije

Svetošimunska 25

10 000 Zagreb

HRVATSKA

Tomislav Šerić, mag. ing. silv.

e-pošta: tomlavgs82@gmail.com

Ulica specijalne jedinice policije 8

53000 Gospić

HRVATSKA

\* Glavni autor – *Corresponding author*

Primljeno (*Received*): 1. 9. 2017.

Prihvaćeno (*Accepted*): 28. 9. 2017.



# Otvorenost gospodarske jedinice Belevine, NPŠO Zalesina, i prijedlog daljnjega otvaranja

Andreja Đuka, Tibor Pentek, Tomislav Poršinsky, David Janeš,  
Mislav Starčević, Ivica Papa

## Nacrtak – Abstract

Jedan od preduvjeta potrebnih za racionalno gospodarenje šumskim ekosustavom svakako je kvalitetna šumska prometna infrastruktura. Nedovoljna otvorenost i nepovoljan razmještaj u prostoru primarne i sekundarne prometne infrastrukture stvara probleme u gospodarenju šumama te poskupljuje pridobivanje drva. U ovom je radu prikazano sadašnje stanje primarne i sekundarne otvorenosti gospodarske jedinice Belevine te srednje stvarne udaljenosti privlačenja drva na razini odjela/odsječka. Iznosen je i prijedlog daljnjega otvaranja prostorno izdvojenoga odjela 18. Odjel 18 najmanje je otvorena površina te gospodarske jedinice (GJ) i u potpunosti je okružen privatnim površinama. U raščlambi parametara otvorenosti istraživana područja primijenjeni su programi ArcGIS 10.1 i QGIS 2.14.3. U istraživanoj GJ srednja stvarna udaljenost privlačenja drva iznosi  $156,7 \pm 127,3$  m, s najvećom udaljenosti od 762 m i ukupnim faktorom privlačenja drva od 2,02. Analiza faktora privlačenja drva na razini odjela/odsječka GJ Belevine dala je širok raspon podataka, od najmanjih 0,32 do najvećih 3,25, što postavlja upitnim primjenu pretvorbenih faktora na najnižoj operativnoj razini. Nakon predložene rekonstrukcije poljskoga puta u šumsku cestu smanjena je srednja geometrijska udaljenost privlačenja drva odjela 18 ( $478 \text{ m} \rightarrow 253 \text{ m}$ ), odnosno njegovih pojedinih odsjeka: 18a ( $373 \text{ m} \rightarrow 254 \text{ m}$ ), 18b ( $509 \text{ m} \rightarrow 214 \text{ m}$ ) te 18c ( $677 \text{ m} \rightarrow 344 \text{ m}$ ).

**Ključne riječi:** srednja udaljenost privlačenja drva, primarna otvorenost šuma, sekundarna otvorenost šuma, GIS

## 1. Uvod – Introduction

Kako bi šumski transportni sustav bio optimalan, važno je pažljivo isplanirati vrstu, količinu i prostorni raspored svih sastavnica šumske prometne infrastrukture. Gospodarenje šumama u Hrvatskoj uz današnje upotrebljavane sustave pridobivanja drva temelji se većinom na vozilima koja se pokreću motorima s unutarnjim izgaranjem pri čemu je prijenosnik zakretnoga momenta na podlogu kotač. Današnja je dinamika bilo kakvih šumskih radova, a pogotovo transporta drva, bez primarne i sekundarne mreže šumskih prometnica gotovo nezamisliva. Otvaranjem šuma mrežom šumskih prometnica šumski prostor postaje dostupan transportnim sredstvima (Đuka 2014). Sastavnice primarne šumske prometne infrastrukture imaju različite zadaće, ali je njihova osnovna i najvažnija zadaća

omogućavanje provedbe svih aktivnosti povezanih s gospodarenjem šumom (Potočnik 1996). Stampfer (2010) ističe kako se učinkovitost pojedinoga sustava pridobivanja drva temelji na postojećoj mreži šumskih prometnica. Primarnu šumsku prometnu infrastrukturu čine sve kategorije šumskih cesta, one javne ceste koje se mogu koristiti pri radovima u šumarstvu (to su najčešće javne ceste nižih kategorija – županijske i lokalne ceste) (Šikić i dr. 1989), te nerazvrstane ceste (Papa i dr. 2015).

Izgradnja primarne cestovne mreže u šumama, bez obzira na vlasničku strukturu, ima šire društveno značenje, bilo da se radi o otvaranju privatnih šuma, prostorno izdvojenih šumskih kompleksa državnih šuma ili državnih šuma. Avdibegović i dr. (2010) navode da se izgradnjom šumskih cesta i otvaranjem šuma stva-

raju pretpostavke za uspješnije gospodarenje, zaštitu i očuvanje šuma te za povećanje vrijednosti individualnih šumskih posjeda, a time i prihoda koji se u njima ostvaruju. Dovoljno gusta i pravilno raspoređena mreža šumskih cesta osnovni je preduvjet za intenzivno gospodarenje šumama, a time i pravilan uzgoj šuma i pridobivanje drva, ali i sporednih šumskih proizvoda. Autori nadalje naglašavaju da primarna i sekundarna mreža šumskih prometnica s odgovarajućim tehničkim svojstvima omogućuje učinkovit rad u šumarstvu primjenom moderne mehanizacije, a povezanost pojedinoga šumskoga kompleksa s centrima prodaje ili prerade drva stvara mogućnost za brže i učinkovitije pojavljivanje šumskih proizvoda na tržištu.

Prema Pravilniku o izmjenama i dopunama Pravilnika o provedbi mjere M04 »Ulaganja u fizičku imovinu«, podmjere 4.3. »Potpora za ulaganja u infrastrukturu vezano uz razvoj, modernizaciju i prilagodbu poljoprivrede i šumarstva«, tipa operacije 4.3.3. »Ulaganje u šumsku infrastrukturu« iz Programa ruralnoga razvoja Republike Hrvatske za razdoblje 2014. – 2020. (NN 106/2015, 65/2017, 77/2017), u daljnjem tekstu Pravilnik o provedbi mjere M04, šumska, javna ili nerazvrstana cesta, odnosno njezina pojedina dionica, koja se uzima u obzir pri obračunu gustoće primarne šumske prometne infrastrukture, mora zadovoljavati ove osnovne, eliminacijske potkriterije: 1) cesta mora imati izgrađenu kolničku konstrukciju (gornji ustroj), 2) u većoj mjeri cesta mora ispunjavati bitne minimalne tehničke značajke nužne za prijevoz drva samim kamionom, 3) na cesti ne smije postojati prometnom signalizacijom regulirano ograničenje osovinskoga prometnoga opterećenja manje od 10 tona i ukupnoga prometnoga opterećenja manje od 26 tona, 4) do ceste se može privlačiti drvo pri čemu se šumska vozila neće kretati po nešumskom zemljištu (poljoprivredno zemljište, urbanizirano zemljište i sl.).

Za rješavanje problema nedovoljno otvorenih ili nekvalitetno otvorenih šuma u Hrvatskoj Pentek i dr. (2005) izradili su protokol za sveobuhvatno optimiziranje mreže šumskih cesta i dijagrame tokova podataka za što veće automatiziranje postupka otvaranja šuma. Sastavnice su protokola ove:

- ⇒ definiranje osnovne funkcije šuma, sastojinskoga oblika i načina gospodarenja, te dizajniranje i uspostava GIS-a istraživanoga područja
- ⇒ raščlamba postojeće mreže primarne šumske infrastrukture
- ⇒ određivanje mogućih trasa budućih šumskih cesta
- ⇒ raščlamba mogućih lokacija budućih šumskih cesta i postizanje ciljne otvorenosti

- ⇒ optimiziranje mreže odabranih šumskih cesta glede visinskoga razvijanja trase
- ⇒ ispitivanje opstojnosti modela na terenu te izrada projektne dokumentacije.

Cilj je ovoga rada odrediti primarnu i sekundarnu otvorenost gospodarske jedinice Belevine Nastavno-pokusnoga šumskoga objekta Zalesina kojim gospodari Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu te dati smjernice budućega otvaranja. Gospodarska je jedinica podijeljena u 18 odjela, a njezina prostorna posebnost leži u činjenici da dok je 17 odjela obuhvaćeno u kompaktnu cjelinu, odjel 18, s pripadajuća tri odsjeka, prostorno je izdvojen i smješten južno od glavnine drugih odjela te okružen privatnim površinama bez pristupa šumskim ili javnim cestama.

## 2. Materijal i metode – *Materials and Methods*

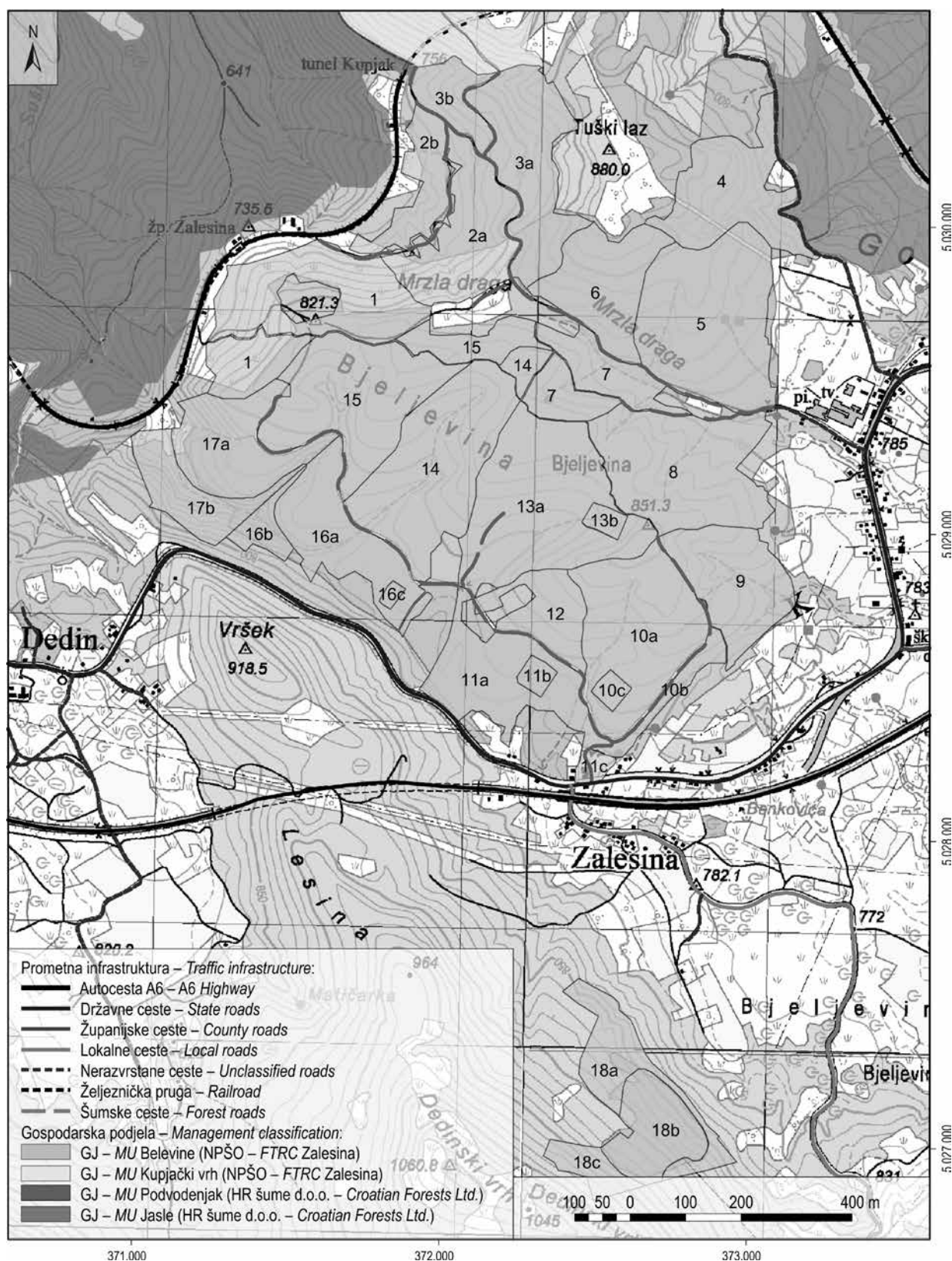
### 2.1 Mjesto istraživanja – *Research Area*

Gospodarska jedinica Belevine (slika 1) nalazi se na 45°26' sjeverne zemljopisne širine i 14°53' zemljopisne dužine istočno od Greenwicha. Zauzima površinu od 290,84 ha, od čega je na 287,19 ha obraslo proizvodno šumsko zemljište, na 1,86 ha neobraslo je neproizvodno šumsko zemljište te na 1,79 ha neplodno šumsko zemljište. Prosječna drvena zaliha gospodarske jedinice iznosi 445 m<sup>3</sup>/ha, s temeljnicom od 41,98 m<sup>2</sup>/ha (najviše je stabala u debljinskom razredu iznad 51 cm prsnoga promjera). Godišnji tečajni prirast iznosi 7,40 m<sup>3</sup>/ha.

Prvi pisani dokumenti koji se izravno odnose na šume GJ Belevine datiraju iz 1872. godine kad su postale posjed Viktorije Thurn i Taxis, a sama prostorna razdioba gospodarske jedinice od tada zadržana je i danas (Anon. 2009). Gospodarska je jedinica podijeljena u 18 odjela koji se rasprostiru u tri katastarske općine: Brod na Kupi, Delnice i Divjake. Odsjeci 18a, 18b i 18c, imena Dedinski vrh, prostorno su izdvojeni od ostaloga dijela GJ te zauzimaju površinu od ukupno 18,2 ha, opsega 2,585 km, te su okruženi privatnim šumskim i poljoprivrednim površinama, bez neposrednoga dodira s primarnom šumskom transportnom infrastrukturom.

### 2.2 Parametri otvorenosti šuma i srednja udaljenost privlačenja drva – *Forest Opening Parameters and Average Timber Extraction Distance*

Gustoća je cesta osnovna veličina prema kojoj se određuje razina dosegnute postojeće, ali i željene primarne otvorenosti nekoga područja, a predstavlja

**Slika 1.** Gospodarska jedinica Belevine**Fig. 1** Management Unit Belevine



zbroj duljina svih sastavnica primarne šumske infrastrukture (šumskih i javnih cesta), sveden na površinu šuma koju prometnice otvaraju (Pentek i dr. 2011). Gustoća se cesta može iskazivati za različite razine (šumskogospodarsko područje, uprava šuma, šumarija, gospodarska jedinica, privatni šumoposjed), a izražava se u m/ha ili km/1000 ha, rjeđe u km/km<sup>2</sup> (Lovrić 1973). Uobičajeno je gustoću cesta iskazivati na razini gospodarske jedinice koja je zaokružena šumska površina, sličnih orografskih (reljefnih) i sastojinskih značajki, ali i načina gospodarenja šumom (Bumber 2011). Gustoća je cesta brojčani podatak koji ne govori puno o kvaliteti prostornoga rasporeda primarnih prometnica šumskoga područja, već samo o njihovoj kvantiteti, te se stoga na osnovi toga parametra ne može dovoljno pouzdano opisati funkcionalnost, upotrebljivost, procijeniti unaprijedeno te provesti ocjena postojećega primarnoga šumskoga transportnoga sustava (Pentek i dr. 2004). Pri obračunu gustoće primarne šumske prometne infrastrukture, osim Pravilnikom o provedbi mjere M04 (NN 106/2015, 65/2017, 77/2017) navedenih osnovnih, eliminacijskih potkriterija, korištene su i smjernice propisane posebnim, prostornim kriterijima.

Relativna otvorenost šuma, numerički i grafički, kvalitativno i kvantitativno, prikazuje stanje primarne šumske prometne infrastrukture na određenom šumskom području (Pentek i dr. 2005). Pentek i dr. (2005) navode da je relativna otvorenost izuzetno učinkovito sredstvo i da je zasnovana na metodi omeđenih površina oko šumskih cesta, za koju je izrađen sustav procjene kakvoće, pri raščlambi postojeće mreže šumskih cesta, izlučivanju neotvorenih područja te njihovu daljnjem i budućem otvaranju. Isti autori smatraju da relativna otvorenost, zajedno s podatkom o gustoći šumskih cesta (m/ha), daje sliku i o kakvoći njihova prostornoga (položajnoga) razmještaja. Raščlamba relativne otvorenosti provest će se polaganjem omeđenih površina oko sastavnica primarne šumske infrastrukture radi dobivanja ovih kategorija površina: 1) jednostruko otvorenih površina – bez zona preklapanja, 2) višestruko otvorenih površina – prisutno preklapanje otvorenih površina, 3) neotvorenih površina te 4) otvorenih površina izvan gospodarske jedinice.

Poznato je da zbog različitosti orografije terena te nepravilnosti šumskih površina, ali i mreže prometnica, opće primjenjiva i matematički točna ovisnost udaljenosti privlačenja drva i gustoće mreže šumskih cesta ne postoji (Segebaden 1964). Segebaden (1964) dopunjuje Matthewsov teorijski model uzimajući u obzir: 1) nepravilnost mreže cesta koja se pojavljuje u stvarnosti i 2) da se često odstupa od pravocrtanoga i okomitoga kretanja prema cesti zbog djelovanja terenskih čimbe-

nika šumskoga bespuća (nagib terena, površinske prepreke, nosivost podloge). Radi valoriziranja udaljenosti privlačenja drva u stvarnom životu, pomoću metode mreže točaka, autor definira pet tada novih parametara: 1) srednju geometrijsku udaljenost privlačenja, 2) srednju stvarnu udaljenost privlačenja, 3) faktor mreže prometnica (cesta), 4) faktor privlačenja drva te 5) ukupni faktor korekcije. Aritmetička sredina ostvarenih udaljenosti privlačenja drva od beskonačnoga broja točaka jednoliko raspoređenih po površini do mjesta na šumskoj cesti gdje se skuplja drvo, naziva se srednja stvarna udaljenost privlačenja drva (izraz 1).

$$\bar{s}_d = \frac{\sum_{i=1}^n s_{d_i}}{n} \quad (1)$$

Gdje su:

- $s_d$  srednja stvarna udaljenost privlačenja drva, m
- $n$  broj jednoliko raspoređenih točaka po površini

Najkraća udaljenost od zadane točke u prostoru do najbliže ceste naziva se geometrijska udaljenost privlačenja drva. Srednja geometrijska udaljenost privlačenja drva neke površine šuma aritmetička je sredina geometrijskih udaljenosti privlačenja drva beskonačnoga broja točaka jednoliko raspoređenih predmetnom površinom, pri čemu je svaka točka beskonačno mala površina (izraz 2).

$$\bar{s}_g = \frac{\sum_{i=1}^n s_{g_i}}{n} \quad (2)$$

Gdje su:

- $s_g$  srednja geometrijska udaljenost privlačenja drva, m
- $n$  broj jednoliko raspoređenih točaka po površini

Faktor mreže prometnica određen je kao odnos srednje geometrijske i srednje teorijske udaljenosti privlačenja (izraz 3), a uzima se u obzir postojeća nepravilnost površine šuma, mreža primarne prometne šumske infrastrukture (cesta), ali i u odnosu na teorijski model, zbog morfoloških parametara reljefa (nagib terena, razvedenost reljefa, gustoća i razvedenost hidrografske mreže), odnosno primijenjenoga sustava primarnoga otvaranja šuma. Faktor mreže prometnica služi za pretvorbu srednje teorijske udaljenosti privlačenja (izračunate iz gustoće cesta određenoga šumskoga područja) u srednju geometrijsku udaljenost privlačenja (izraz 4), a najčešće se iskazuje na razini gospodarske jedinice.

$$f_m = \frac{\bar{s}_g}{\bar{s}_g} = \frac{\bar{s}_g}{2500} = \frac{\bar{s}_g \times g_c}{2500} \quad (3)$$

$$\bar{s}_g = s_t \times f_m \quad (4)$$

Gdje su:

- $f_m$  faktor mreže prometnica
- $s_g$  srednja geometrijska udaljenost privlačenja drva, m
- $s_t$  srednja teorijska udaljenost privlačenja drva, m
- $g_c$  gustoća cesta, m/ha

Faktor korekcije privlačenja drva jest odnos srednje stvarne i srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva (izraz 5), a uzima u obzir povećanje udaljenosti privlačenja drva u odnosu na najkraću udaljenost do šumske ceste (pomoćnoga stovarišta) zbog djelovanja: 1) terenskih čimbenika i oblika i rasporeda sekundarne mreže šumskih prometnica, 2) načina kretanja drva do pomoćnoga stovarišta (centralno i paralelno privlačenje drva), 3) mogućnosti prihvata drva korištenim sredstvom privlačenja drva (skider – duljina vučnoga uža vitla, forvarder – doseg prihvata drva dizalicom i dr.).

$$f_p = \frac{\bar{s}_d}{\bar{s}_g} = \frac{\bar{s}_d}{\frac{2500}{g_c} \times f_m} = \frac{\bar{s}_d \times g_c \times f_m}{2500} \quad (5)$$

Gdje su:

- $f_p$  faktor korekcije privlačenja drva
- $f_m$  faktor mreže prometnica
- $s_g$  srednja geometrijska udaljenost privlačenja drva, m
- $s_t$  srednja teorijska udaljenost privlačenja drva, m
- $g_c$  gustoća cesta, m/ha

Za pretvorbu srednje geometrijske udaljenosti privlačenja u srednju stvarnu udaljenost privlačenja koristi se faktor korekcije privlačenja drva (izraz 6). Taj se faktor korekcije sastoji od faktora vertikalne korekcije nagiba terena i faktora horizontalnoga zaobilaženja prepreka ( $1/\cos \alpha$ ).

$$\bar{s}_d = s_g \times f_m \quad (6)$$

Gdje su:

- $s_d$  srednja stvarna udaljenost privlačenja drva, m
- $f_p$  faktor korekcije privlačenja drva
- $s_g$  srednja geometrijska udaljenost privlačenja drva, m

Ukupni je faktor korekcije teorijske srednje udaljenosti privlačenja drva interakcija faktora privlačenja drva i faktora mreže prometnica – korekcije geometrijske srednje udaljenosti privlačenja (izraz 7), a primje-

njuje se za pretvaranje teorijske srednje udaljenosti privlačenja u stvarnu srednju udaljenost privlačenja drva (izraz 8). Taj se faktor iskazuje za veće šumsko područje.

$$f_p = f_m \times f_p \quad (7)$$

$$\bar{s}_d = s_g \times f_p \quad (8)$$

Gdje su:

- $f_p$  ukupni faktor korekcije
- $f_m$  faktor mreže prometnica
- $f_p$  faktor korekcije privlačenja drva
- $s_d$  srednja stvarna udaljenost privlačenja drva, m
- $s_g$  srednja geometrijska udaljenost privlačenja drva, m

Određivanje srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva na jednostavan način pomoću GIS-a (Geografski informacijski sustav), alata na razini gospodarske jedinice, ali i pojedinih odjela/odsjeaka, moguće je pomoću određivanja tzv. euklidske udaljenosti (Bumber 2011, Valeria i dr. 2011, Đuka 2014, Lepoglavec 2014) zasnovane na geometrijskim udaljenostima od točaka pravilne mreže (razmaka 10 m × 10 m) do sastavnica primarne šumske infrastrukture koja ujedno i odgovara Segebadnovim (1964) temeljima određivanja srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva.

Izračun srednje stvarne (*Path distance*) udaljenosti privlačenja drva idejno će se zasnivati na kretanju vozila isključivo po postojećoj mreži sekundarnih šumskih prometnica. Taj način izračuna razumijeva i ravnomjerno posječeno drvo na cijeloj površini sječne jedinice te uključuje nagib terena koje vozilo svladava pri kretanju po mreži sekundarnih šumskih prometnica i udaljenosti traktorskih putova ili vlaka do najbliže šumske ili javne ceste. Tako izračunate vrijednosti bit će »stvarne« udaljenosti privlačenja jer se u obzir uzima i faktor vertikalne korekcije terena ( $f = 1/\cos \alpha$ ), odnosno nagib koji skider svladava kretanjem po određenim odjelima/odsjecima.

U analizi parametara otvorenosti istraživanoga područja upotrijebljeni su programi ArcGIS 10.1, dok je za pretvorbu podataka u službeni položajni referentni koordinatni sustav Republike Hrvatske HTRS96/TM upotrijebljen program QGIS 2.14.3.

### 3. Rezultati s raspravom – Results with Discussion

Rezultati analize primarne otvorenosti gospodarske jedinice Belevine primarnom šumskom transport-

nom infrastrukturom prikazani su kao: 1) analiza duljine prometnica i gustoće cesta, 2) analiza geometrijskih udaljenosti privlačenja drva te 3) analiza relativne otvorenosti šuma. Analiza sekundarne otvorenosti istraživanoga područja prikazana je iskazom stvarnih udaljenosti privlačenja drva po mreži traktor-skih putova i vlaka.

### 3.1 Analiza duljine prometnica i gustoće cesta *Road Length and Road Density Analysis*

Primarna prometna šumska infrastruktura razvrstana je na: 1) pet kategorija javnih cesta, sukladno odredbama Zakona o cestama (NN 84/11, 22/13, 54/13, 148/13, 92/14) i Odluci o razvrstavanju javnih cesta (NN 96/16), 2) željezničke pruge, sukladno odredbama Zakona o željeznici (NN 94/13, 148/13, 73/17) te 3) šumske ceste, sukladno odredbama Zakona o šumama (NN 140/05, 82/06, 129/08, 80/10, 124/10, 25/12, 68/12, 148/13, 94/14).

Određivanjem položaja u prostoru primarne šumske infrastrukture gospodarske jedinice Belevine (slika 1), ali i uočavanjem svih ostalih ograničenja te posebnosti vezanih uz prometnice u području < 250 m od vanjskoga te < 125 m od unutarnjega ruba šume propisanih Pravilnikom o provedbi mjere M04 (NN 106/2015, 65/2017, 77/2017), došlo se do sljedećih spoznaja o njihovoj ulozi u otvaranju šuma:

Na svim javnim cestama ne postoji ograničenje njihova dopuštenoga opterećenja koje je regulirano prometnom signalizacijom, odnosno na većini duljine javnih prometnica ne mogu se utovarivati drva u kamione zbog nemogućnosti otvaranja pomoćnih stovarišta, odnosno privlačenja drva na njih zbog: 1) neposredne blizine okućnica pojedinih naselja (Zalesina i Kupjak), 2) nemogućnosti otvaranja pomoćnoga stovarišta u zaštitnom pojasu pojedinih kategorija javnih prometnica (autocesta A6), 3) kretanja vozila pri privlačenju drva preko površina koje nisu šumske (poljoprivredne površine i okućnice), 3) neadekvatnosti površina (nagib terena) u zaštitnim pojasima nižih kategorija javnih cesta za privremeno otvaranje pomoćnih stovarišta (uz suglasnost koncesionara koji upravlja njima) uz obaveznu izradu i provođenje »Projekta privremene regulacije prometa« prema odredbama Zakona o sigurnosti prometa na cestama.

Željeznička je pruga Rijeka – Zagreb prepreka privlačenju drva iz dijela površina zapadnih odjela gospodarske jedinice (1 i 17) koji gravitiraju mreži šumskih cesta GJ »Podvodenjak« kojom gospodari Šumarija Delnice.

Na šumskim cestama, s obzirom na to da one nisu javne već gospodarske, ne postoje zakonska ograni-

čenja pri njihovom korištenju koja se odnose na javne ceste.

Od 4,936 km ukupne duljine raznih kategorija javnih cesta, u području < 250 m od ruba gospodarske jedinice Belevine, samo 671 m (13,59 %) njihove duljine otvara šumu. Razliku duljine od 4,265 km čini: 880 m autoceste A6, 2156 m državne ceste D3 (»Lujzijana«) i 1900 m više segmenata lokalnih i nerazvrstanih cesta. Na navedenim dionicama ne postoje ograničenja njihova dopuštenoga opterećenja, ali se s njih ne mogu utovarivati drva u kamione zbog nemogućnosti otvaranja pomoćnih stovarišta, tako da je njihova uloga svedena samo na povezivanje odnosno pristup dijelovima primarne šumske infrastrukture koje zadovoljavaju ta dva uvjeta. Od svih javnih cesta samo jedan dio nerazvrstane ceste Kupjak – Rogi – Buzin – Radočaj primarno otvara površinu istraživane gospodarske jedinice s ukupnom duljinom od 671 m, a zbog smanjenja duljine na polovicu zbog jednostra-

**Tablica 1.** Analiza parametara klasične otvorenosti šuma

**Table 1** Parameters of classic forest openness

| Gospodarska jedinica Belevine<br><i>Management Unit Belevine</i>  |  |        |
|---|--|--------|
| Duljina prometnica koje otvaraju šumu, m<br><i>Length of roads in forest opening, m</i>                           |  | 7767   |
| Duljina prometnica u obračunu otvorenosti, m<br><i>Length of roads in forest openness calculation, m</i>          |  | 6349   |
| Površina, ha<br><i>Area, ha</i>   | Ukupna površina<br><i>Total area</i>   | 290,84 |
|   | Obraslo zemljište<br><i>Covered area</i>   | 287,19 |
|   | Neplodno i neobraslo neproizvodno zemljište<br><i>Unproductive and barren uncovered area</i> | 3,65   |
| Gustoća cesta, m/ha<br><i>Road density, m/ha</i>  | Prema ukupnoj površini<br><i>According to total area</i>                                     | 21,83  |
|   | Prema obraslom zemljištu<br><i>According to covered area</i>                                 | 22,11  |
| Teorijski razmak između prometnica* – e, m<br><i>Theoretical distance between roads – e, m</i>                    |  | 452,3  |
| Srednja teorijska udaljenost privlačenja drva* – st, m<br><i>Average theoretical extraction distance* – st, m</i> |  | 113,1  |

\* izračun na osnovi gustoće cesta u odnosu na obraslu površinu gospodarske jedinice

\* calculation based on road density according to covered area of management unit

noga pristupa šumskoj površini od 335 m odnosno 49,93 % njezine duljine ulazi u obračun primarne klasične otvorenosti.

Ukupna je duljina šumskih cesta u istraživanoj gospodarskoj jedinici 7096 m, dok u izračunu primarne klasične otvorenosti ulazi 6014 m duljine (84,73 %) zbog redukcije pojedinih segmenata na jednostran pristup šumi djelomice zbog njihova položaja unutar 125 m od ruba granice odnosno zbog pojave privatnih površina (enklava) unutar same gospodarske jedinice.

Primarna šumska infrastruktura (šumske i javne ceste) koja otvara istraživanu gospodarsku jedinicu ukupne je duljine 7,767 km, a zbog duljine njihovih segmenata koji jednostrano (smanjenje duljine na polovicu) odnosno dvostrano otvaraju šumu (u obračunu puna duljina), 80,09 % njihove duljine (6,349 km) ulazi u obračun primarne klasične otvorenosti.

S obzirom na to da se ukupna površina gospodarskih jedinica prema Pravilniku o uređivanju šuma iskazuje u više površinskih kategorija (obrasla, neobrasla proizvodna, neobrasla neproizvodna, neplodna) u tablici 1, primarna klasična otvorenost (gustoća cesta) iskazana je prema ukupnoj površini, odnosno obraslom zemljištu.

Razlika između najmanje (iskaz prema obrasloj površini) i najveće (iskaz prema ukupnoj površini) vrijednosti gustoće cesta iznosi 0,28 m/ha, što za istraživano područje od ukupne površine 290,84 ha čini neznatnu duljinu nepostojeće primarne šumske prometne infrastrukture koja dvostrano otvara šumu. U daljnjim analizama podataka koristit će se vrijednosti gustoće cesta iskazane prema obraslom šumskom zemljištu.

Gustoća cesta istraživane gospodarske jedinice iznosi 22,11 m/ha obrasle šumske površine te su je s 94,78 % činile šumske ceste, a s 5,28 % javne ceste. Iznimno mali udio javnih cesta u strukturi gustoće cesta istraživanih gospodarskih jedinica posljedica je posebnosti transportnoga omrežja istraživanoga područja, ali i rijetko naseljenoga gorsko-pretplaninskoga područja Gorskoga kotara. Smjernice za otvaranje šuma prema Pravilniku o provedbi mjere M04 (NN 106/2015, 65/2017, 77/2017) navode da ciljana gustoća primarne šumske prometne infrastrukture iznosi 25 km/100 ha, dok je ciljana udaljenost privlačenja drva 200 m. Pentek i dr. (2007) za brdsko-planinsko reljefno područje iskazuju vrijednosti minimalne (15 m/ha), planirane do 2010. (25 m/ha) i ciljane do 2020. (30 m/ha) primarne otvorenosti šuma. Usporedbom rezultata gustoće cesta istraživane gospodarske jedinice uočljivo je da njezino primarno otvaranje prati smjernice hrvatskoga šumarstva.

Za dobivene vrijednosti gustoće cesta, u idealnom teorijskom modelu: 1) razmak između cesta iznosio bi 452,3 m, odnosno 2) srednja teorijska udaljenost privlačenja drva iznosila bi 113,1 m (tablica 1).

### 3.2 Analiza geometrijskih udaljenosti privlačenja drva – *Analysis of Geometrical Timber Extraction Distances*

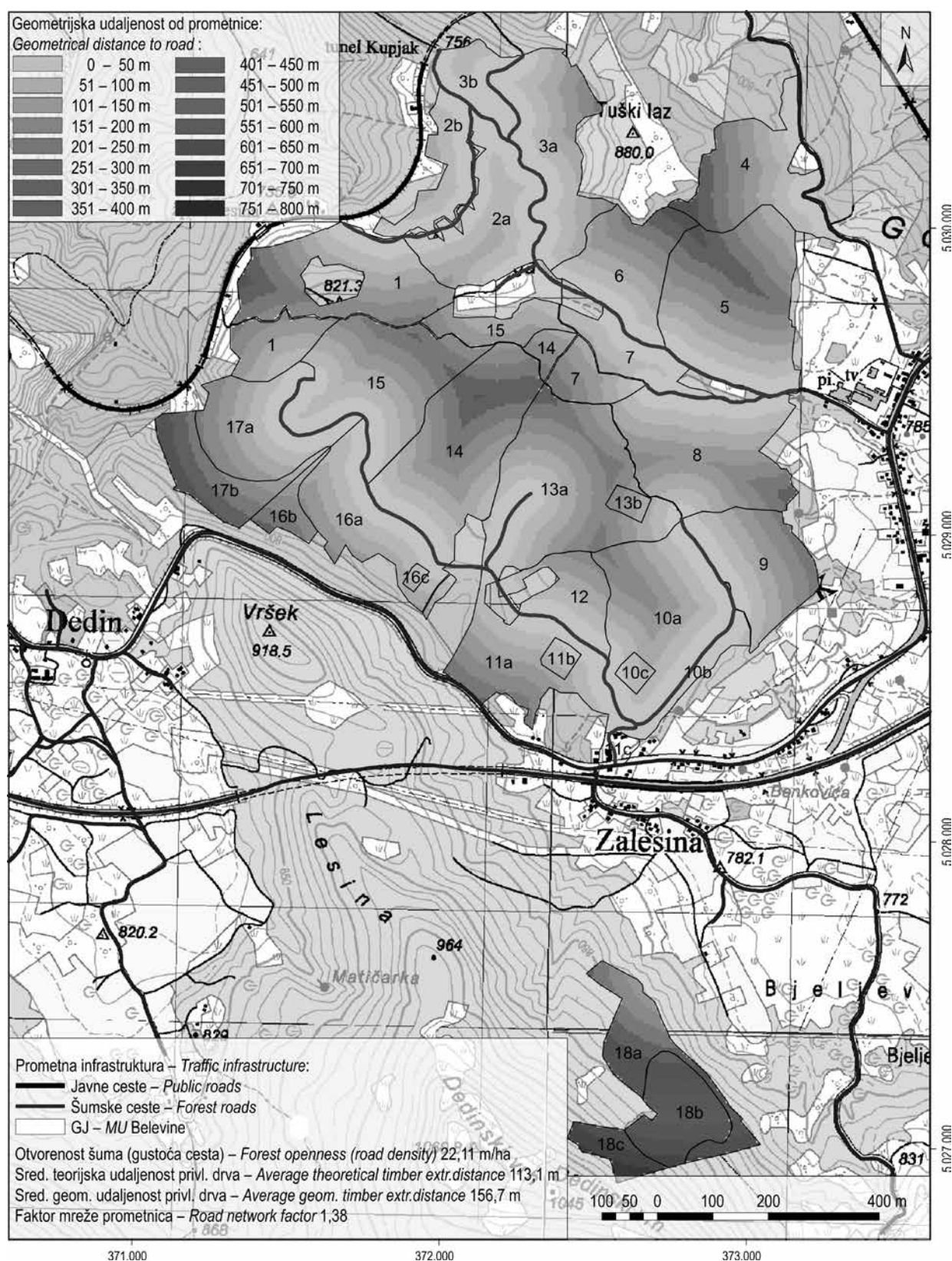
Geometrijske udaljenosti privlačenja drva istraživane gospodarske jedinice, zasnovane na euklidskim udaljenostima od točaka pravilne mreže (razmaka 10 m × 10 m) do sastavnica primarne šumske transportne infrastrukture, prikazane su na slici 2. Analiza je provedena u programskom paketu ArcGIS 10.1.

Uz primarnu klasičnu otvorenost od 22,11 m/ha, srednja geometrijska udaljenost privlačenja drva izračunata na osnovi euklidskih udaljenosti od 29 580 točaka pravilne mreže (koje su »pale« u obrasle površine istraživanih gospodarskih jedinica) do sastavnica primarne šumske transportne infrastrukture iznosi  $156,7 \pm 127,3$  m.

Stavljajući u odnos srednju geometrijsku (156,7 m) i teorijsku (113,1 m) udaljenost privlačenja drva, izračunat je faktor mreže prometnica u iznosu od 1,38. Ta vrijednost faktora mreže šumskih prometnica, odnosno odstupanje srednje geometrijske od srednje teorijske udaljenosti privlačenja drva analiziranoga područja posljedica je: 1) nepravilnosti oblika površine od 290,84 ha istraživane gospodarske jedinice s opsegom od 13,772 km, koji je 2,02 puta veći od opsega kvadrata iste površine (6,822 km), kao idealnoga geometrijskoga oblika na kojem počiva teorijski model transporta drva; 2) nepravilnosti postojeće mreže primarne šumske transportne infrastrukture, koja otvara gospodarsku jedinicu sa 7,927 km duljine, pri čemu šumske ceste sudjeluju duljinom od 94,78 %, a javne ceste s 5,28 % duljine.

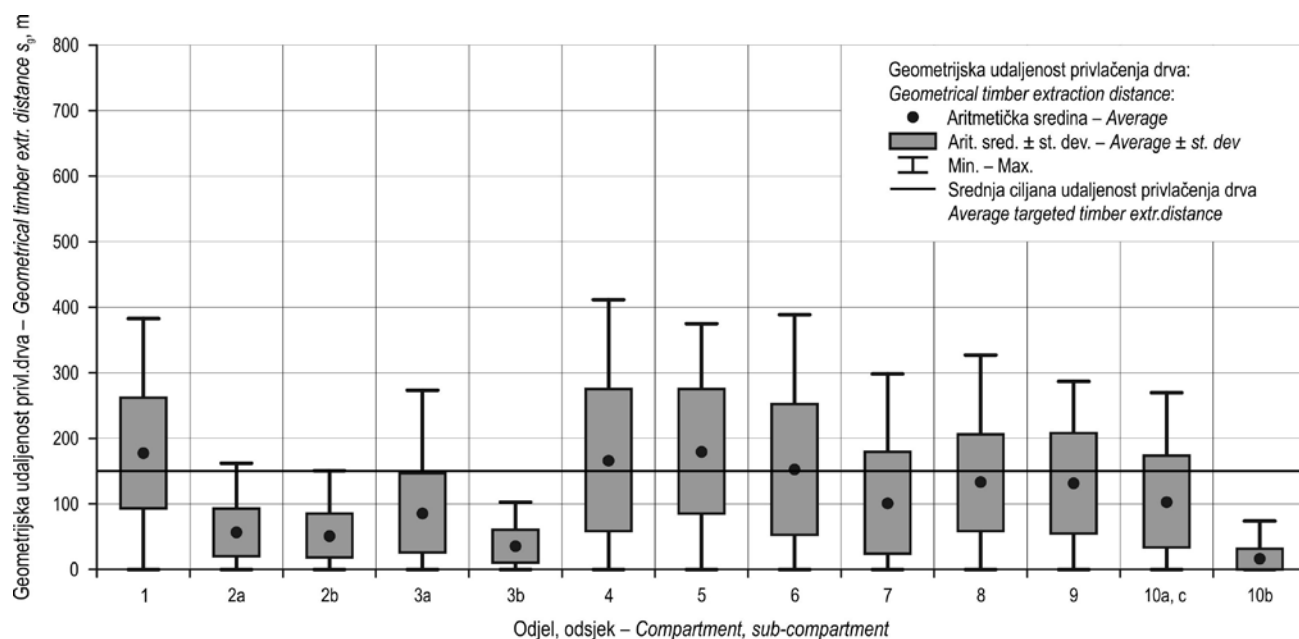
U sklopu analize geometrijskih udaljenosti privlačenja istraživanoga područja izračunate su i srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva pojedinih sastavnica (odjel, odsjek) gospodarske razdiobe GJ Belevine (slika 3) koje su prikazane dijagramima »Box & Whisker«. Time je obuhvaćen i prikaz varijabiliteta geometrijskih udaljenosti privlačenja drva zbog različitih površina i nepravilnosti oblika pojedinih odjela/odsjeaka, ali i njihova položaja u odnosu na prostorni raspored primarne šumske transportne infrastrukture. Dobivene rezultate svakako treba promatrati u kontekstu srednje ciljane udaljenosti privlačenja drva istraživanoga područja. Ciljana srednja udaljenost privlačenja drva (138 m) izračunata je na osnovi smjernice za otvaranje brdskih šuma hrvatskoga



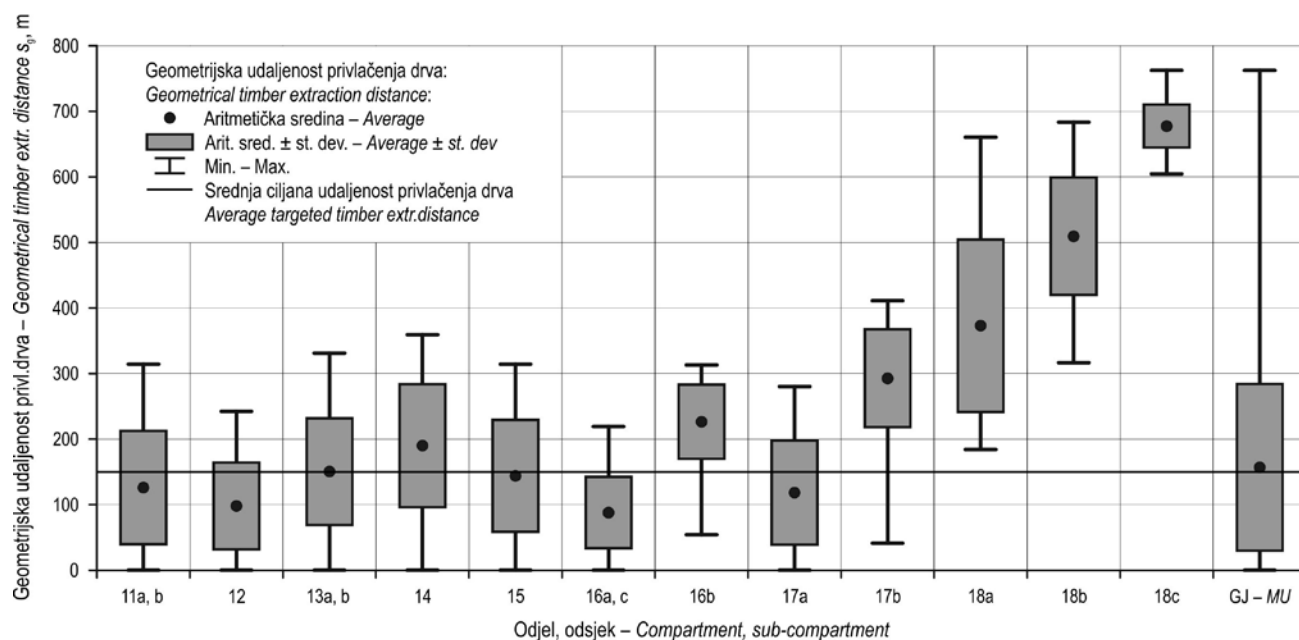


Slika 2. Prikaz geometrijskih (euklidskih) udaljenosti privlačenja drva

Fig. 2 Geometrical (Euclidean) timber extraction distances



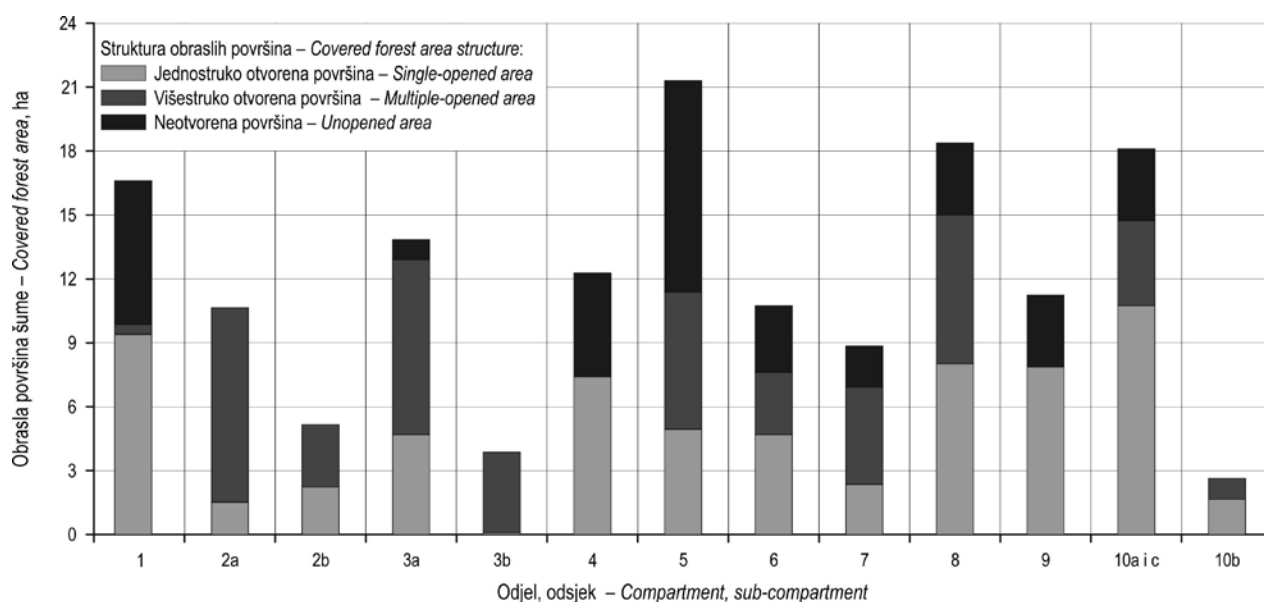
|                        |       |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |      |
|------------------------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Arit. sred.<br>Average | 176,0 | 55,4 | 50,8 | 85,2 | 34,1 | 165,6 | 179,3 | 150,9 | 100,6 | 131,9 | 130,7 | 102,4 | 15,4 |
| St. dev.               | 84,5  | 36,1 | 33,2 | 60,8 | 24,7 | 108,1 | 94,9  | 100,0 | 77,9  | 74,1  | 77,1  | 69,6  | 15,6 |
| Min.                   | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    |
| Max.                   | 381   | 162  | 149  | 272  | 101  | 411   | 374   | 388   | 298   | 326   | 286   | 269   | 72   |



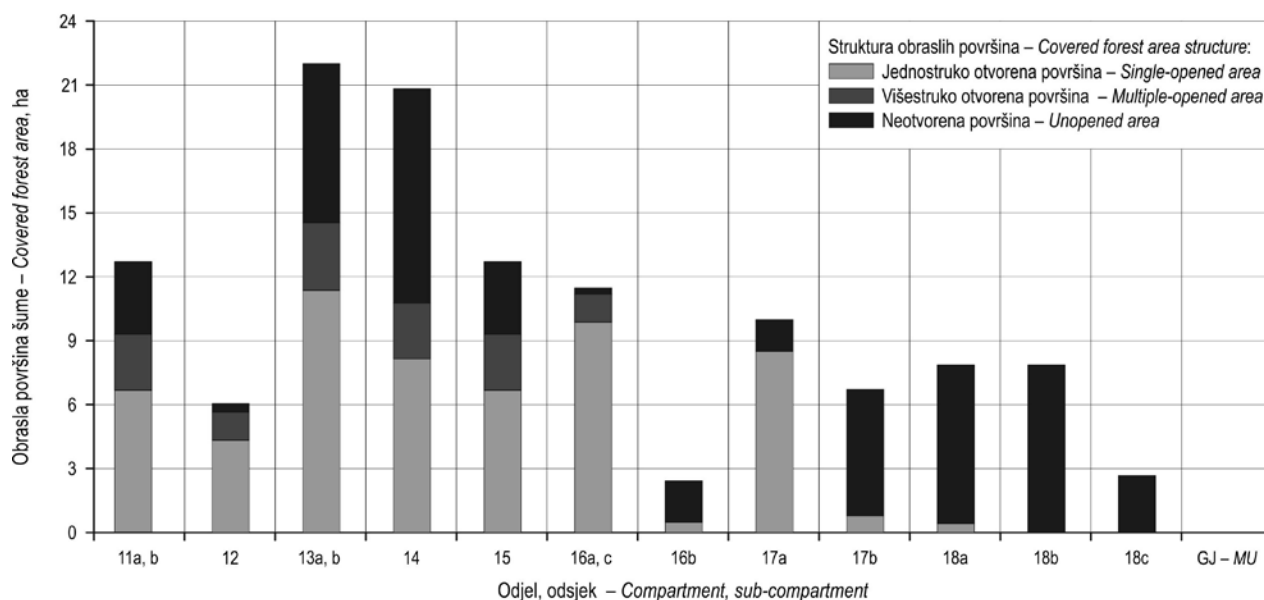
|                        |       |      |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Arit. sred.<br>Average | 126,0 | 97,7 | 150,3 | 189,8 | 143,7 | 87,7 | 226,3 | 118,1 | 292,6 | 372,7 | 509,3 | 677,4 | 156,7 |
| St. dev.               | 86,4  | 66,3 | 81,4  | 93,9  | 85,5  | 54,4 | 56,5  | 79,3  | 74,8  | 131,8 | 89,5  | 32,8  | 127,3 |
| Min.                   | 0     | 0    | 0     | 0     | 0     | 0    | 54    | 0     | 41    | 184   | 316   | 604   | 0     |
| Max.                   | 314   | 242  | 331   | 359   | 314   | 219  | 313   | 280   | 411   | 660   | 683   | 762   | 762   |

Slika 3. Analiza geometrijskih udaljenosti odjela/odsjeaka GJ Belevine

Fig. 3 Analysis of geometrical timber extraction distances in compartments/sub-compartments of MU Belevine



|                      |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Jednostr.<br>Single  | 56,64 % | 13,72 % | 48,74 % | 32,74 % | 1,16 %  | 60,94 % | 24,46 % | 47,37 % | 27,28 % | 45,06 % | 74,82 % | 65,05 % | 64,63 % |
| Višestr.<br>Multiple | 0,74 %  | 86,28 % | 51,26 % | 61,62 % | 98,84 % | 0       | 29,86 % | 20,69 % | 57,94 % | 35,46 % | 0       | 21,59 % | 35,37 % |
| Neotvor.<br>Unopen.  | 42,61 % | 0       | 0       | 5,64 %  | 0       | 39,06 % | 45,68 % | 31,94 % | 14,79 % | 19,48 % | 25,18 % | 13,35 % | 0       |



|                      |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |       |       |         |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|---------|
| Jednostr.<br>Single  | 52,39 % | 74,30 % | 50,96 % | 39,02 % | 65,19 % | 76,59 % | 19,72 % | 79,82 % | 9,57 %  | 5,00 %  | 0     | 0     | 46,36 % |
| Višestr.<br>Multiple | 20,98 % | 17,87 % | 14,32 % | 10,14 % | 6,64 %  | 6,96 %  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0     | 0     | 21,53 % |
| Neotvor.<br>Unopen.  | 26,62 % | 7,81 %  | 34,72 % | 50,83 % | 28,17 % | 2,90 %  | 80,28 % | 20,18 % | 90,43 % | 95,00 % | 100 % | 100 % | 32,11 % |

Slika 4. Prikaz relativne otvorenosti šuma istraživanoga područja

Fig. 4 Relative forest openness in research area

šumarstva na strateškoj i taktičkoj razini (gustoća cesta od 25 m/ha) koja je korigirana s vrijednošću istraživanjem utvrđenoga faktora mreže prometnica – 1,38. Mogućnost korištenja faktora mreže prometnica pri izračunu srednje ciljane udaljenosti privlačenja drva potvrđuje Bumber (2011) analizom otvorenosti šuma izvođenjem radova u prostoru i vremenu.

Veće srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva od srednje ciljane udaljenosti drva u GJ Belevine prisutne su kod odjela/odsjeaka 1, 4, 5, 14, 16b, 17b, 18a, 18b i 18c. Analiza geometrijskih (euklidskih) udaljenosti privlačenja drva provedena u GIS-u dobar je alat za predodžbu (ne)dovoljno otvorenih površina (odjela/odsjeaka) na osnovi kojih se donose odluke za daljnje primarno otvaranje šuma, pri čemu valja imati na umu: 1) namjenu šuma (npr. odsjeci 16b i 17b GJ Belevine zaštitni su odsjeci u kojima nije propisana obveza realizacije etata, 2) veličinu neotvorene površine pojedinoga odjela, koja je u analizi geometrijske udaljenosti privlačenja drva prepoznata kao gornja granica prosječnoga rasipanja podataka (zbroj aritmetičke sredine i standardne devijacije).

### 3.3 Analiza relativne otvorenosti šuma – *Relative Forest Openness*

Analiza relativne otvorenosti šuma provedena je metodom polaganja omeđenih površina (eng. *buffer*) oko sastavnica primarne šumske transportne infrastrukture, gdje je za širinu pojasa otvaranja korištena vrijednost ciljane geometrijske udaljenosti privlačenja drva propisane Pravilnikom o provedbi mjere M04 (NN 106/2015, 65/2017, 77/2017) u iznosu od 200 m.

Relativna otvorenost šuma prikazana je iskazom jednostruko (zone bez preklapanja) omeđene površine u iznosu od 133,15 ha (46,36 %), višestruko omeđene površine (pojavnost preklapanja više zona) u iznosu od 61,83 ha (21,53 %), neotvorene šumske površine u iznosu od 92,21 ha (32,11 %) te otvorene površine izvan istraživane gospodarske jedinice u iznosu od 110,97 ha. Ipak, zadnji navedeni kriterij, tj. otvorene šumske površine izvan gospodarske jedinice Belevine treba promatrati s obzirom na prostorni položaj. Sjeverno od granice ove gospodarske jedinice pridolazi gospodarska jedinica Kupjački vrh koja također pripada Nastavno-pokusnomu šumskom objektu Zalesina, tako da su otvorene šumske površine izvan gospodarske jedinice Belevine ipak nešto manjih veličina.

Nepovoljna pojava višestruko otvorenih površina šume neizbježna je zbog spojeva primarne šumske transportne infrastrukture (povezivanje – raskršća), orografije terena brdskoga područja, ali i neplanske izgradnje šumskih cesta u prošlosti koja je utjecala na njihov današnji prostorni raspored.

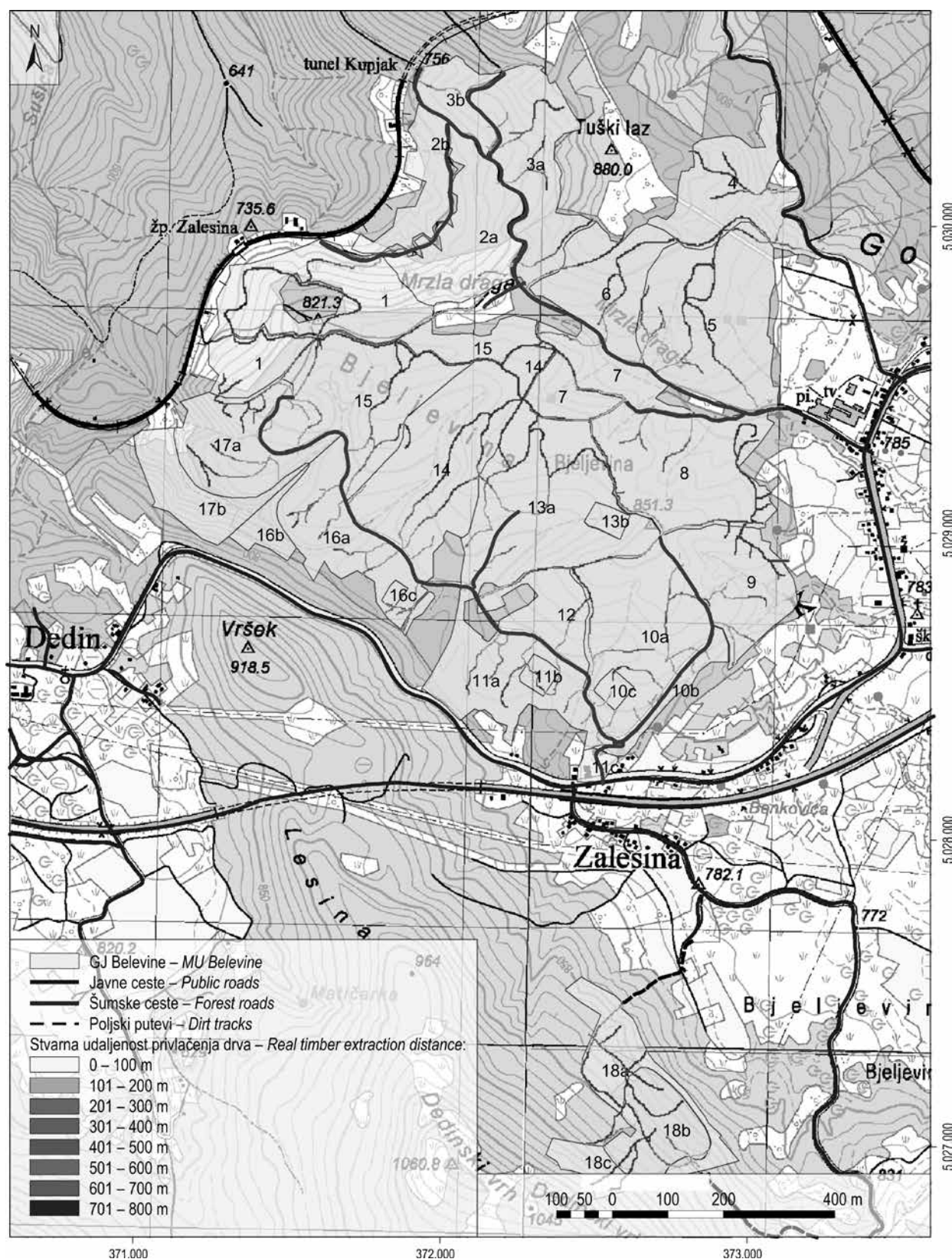
Izračunate neotvorene obrasle površine pojedinih sastavnica gospodarske razdiobe GJ Belevine daju podatak za daljnje primarno otvaranje šuma, tj. usmjeravaju našu pažnju na neotvorene šumske površine. Posebno valja istaknuti da pojedine neotvorene površine istraživane gospodarske jedinice ne bi trebale biti predmet daljnjega otvaranja šuma jer bi se njihovim otvaranjem i neracionalnom gradnjom novih šumskih cesta dodatno narušila, već sada relativno nepovoljna struktura otvorenih površina GJ Belevine.

### 3.4 Srednja udaljenost privlačenja drva – *Average timber extraction distance*

Primjenom alata *Path Distance* iz programskoga paketa ArcGIS 10.1 izračunate su srednje stvarne udaljenosti privlačenja drva za svaki odjel/odsjek istraživane gospodarske jedinice. Izračun je uključivao nagib terena te duljinu traktorskih vlaka i putova do najbliže šumske (javne) ceste. Na razini istraživanoga područja srednja stvarna udaljenost privlačenja drva iznosi  $156,7 \pm 127,3$  m, s najvećom udaljenosti od 762 m te ukupnim faktorom privlačenja drva (odnos stvarne i geometrijske udaljenosti privlačenja drva) od 2,02.

Usporedbom srednje stvarne sa srednjom geometrijskom udaljenosti privlačenja drva (slika 6) vidljiva su njihova međusobna odstupanja. Razlog je odstupanjima oblik mreže sekundarne šumske infrastrukture te način izračuna srednjih stvarnih udaljenosti privlačenja drva, koji uključuje vertikalnu korekciju terena (nagib traktorskih vlaka i putova), ali i zaobilaženje površinskih prepreka (horizontalnu korekciju terena). Prethodno objašnjeni način izračuna odmak je od pravocrtnoga kretanja vozila prilikom privlačenja drva, koji je temelj srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva. Odstupanja su srednjih udaljenosti privlačenja u GJ Belevine ( $s_g = 156,7$  m  $\rightarrow$   $s_d = 218,6$  m) objašnjena oblikom mreže traktorskih vlaka, odnosno obveznim zaobilaženjem površinskih prepreka (korita vodotoka) (Đuka 2014).

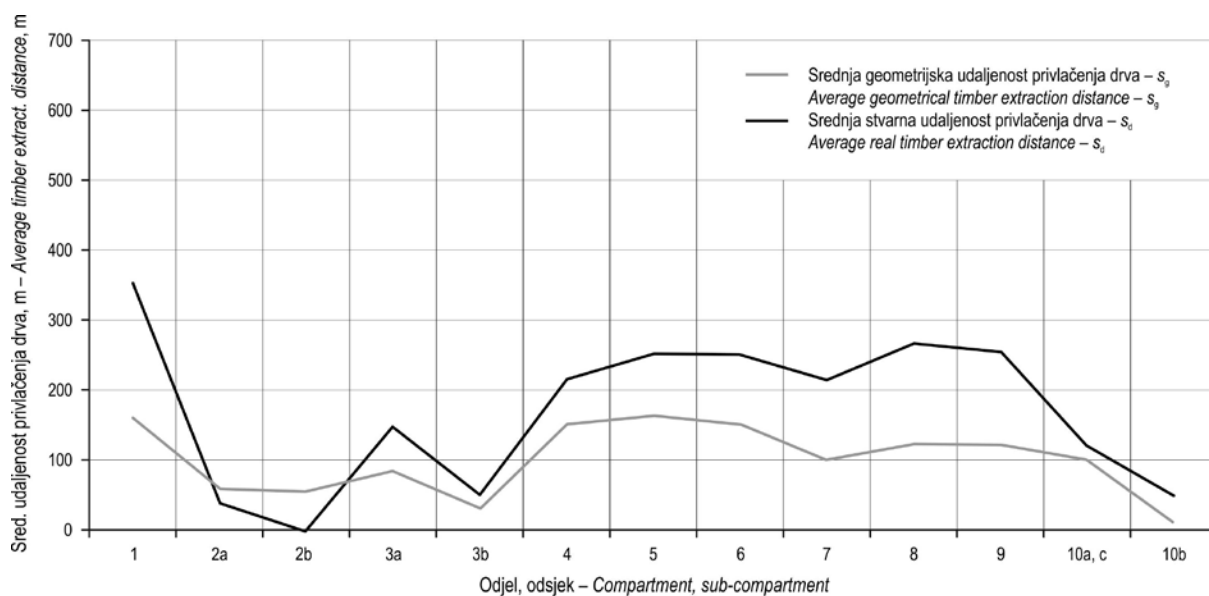
Slika 5 prikazuje stvarne udaljenosti privlačenja drva po odjelima/odsjecima GJ Belevine s obzirom na kretanje vozila po traktorskim vlakama do najbliže šumske ili javne ceste primjenom alata *Path Distance*. Ako se izuzmu slabije otvoreni odsjeci (2a i 2b, 16b i 17b), prosječna vrijednost koju vozilo prelazi u preostalim odjelima/odsjecima iznosi 207,5 m, dok je najveća srednja stvarna udaljenost privlačenja drva zabilježena u odjelu 1 (352 m). Nadalje, odstupanja između geometrijske i stvarne srednje udaljenosti privlačenja u primjerice odjelu 18 rezultat su ne samo izraženih nagiba terena (u odsjeku 18b) već i činjenice da su za izračun srednje stvarne udaljenosti korištena i oba poljska puta (čine poveznicu s primarnom infra-



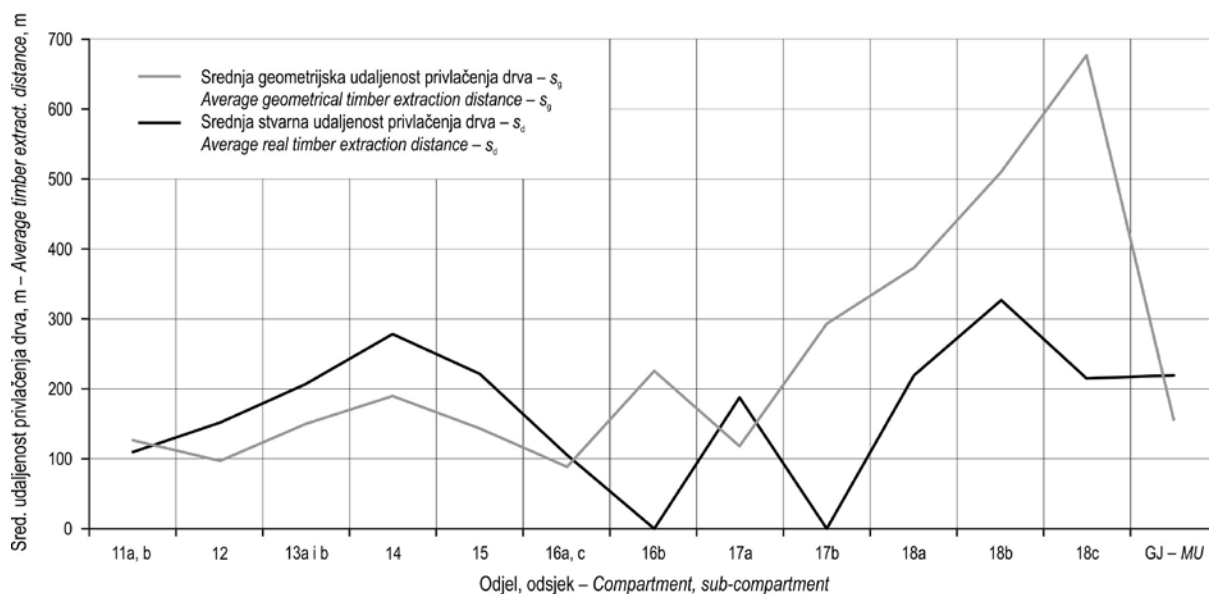
**Slika 5.** Prikaz stvarnih udaljenosti privlačenja drva GJ Belevine

**Fig. 5** Real timber extraction distances in MU Belevine





|            |       |      |      |       |      |       |       |       |       |       |       |       |      |
|------------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Geomet.    | 176,0 | 55,4 | 50,8 | 85,2  | 34,1 | 165,6 | 179,3 | 150,9 | 100,6 | 131,9 | 130,7 | 102,4 | 15,4 |
| Geomet.    |       |      |      |       |      |       |       |       |       |       |       |       |      |
| Stvarna    | 352,0 | 40,1 | 0    | 148,1 | 52,3 | 216,3 | 251,3 | 250,8 | 214,4 | 265,8 | 253,7 | 121,1 | 50,1 |
| Real       |       |      |      |       |      |       |       |       |       |       |       |       |      |
| F.privlač. | 2,00  | 0,72 | 0    | 1,74  | 1,53 | 1,31  | 1,40  | 1,66  | 2,13  | 2,02  | 1,94  | 1,16  | 3,25 |
| Off-road   |       |      |      |       |      |       |       |       |       |       |       |       |      |
| corr.fact. |       |      |      |       |      |       |       |       |       |       |       |       |      |



|            |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Geomet.    | 126,0 | 97,7  | 150,3 | 189,8 | 143,7 | 87,7  | 226,3 | 118,1 | 292,6 | 372,7 | 509,3 | 677,4 | 156,7 |
| Geomet.    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Stvarna    | 110,3 | 152,5 | 207,6 | 279,2 | 221,1 | 105,4 | 0     | 187,1 | 0     | 219,6 | 327,0 | 214,3 | 218,6 |
| Real       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| F.privlač. | 0,88  | 1,56  | 1,38  | 1,47  | 1,54  | 1,20  | 0     | 1,58  | 0     | 0,59  | 0,64  | 0,32  | 1,40  |
| Off-road   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| corr.fact. |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

Slika 6. Usporedba srednjih udaljenosti privlačenja drva na razini odjela/odsjeaka

Fig. 6 Comparisment of average timber extraction distances at compartment/sub-compartment level

strukturom) koji omogućuju pristup tomu dislociranom belevinskomu odjelu, a koji se prema trenutačnomu dogovoru s vlasnicima smiju koristiti tijekom radova na pridobivanju drva. Drugi važan razlog razlike srednje geometrijske i stvarne udaljenosti privlačenja jest u obliku mreže sekundarne šumske infrastrukture, odnosno u želji zaobilazanja površinskih prepreka (vodna tijela), dijelova privatnih površina te pokusnih ploha Šumarskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, a koje su uklopljene u ovu gospodarsku jedinicu (npr. odsjeci 13b i 16c). Uspoređivanjem krivulja srednje geometrijske i stvarne udaljenosti privlačenja drva (slika 6) može se zaključiti sljedeće:

U većini su odjela/odsjeka (1, 3a, 3b, 4 – 10b, 12 – 16a) vrijednosti srednje stvarne udaljenosti privlačenja veće od srednjih geometrijskih udaljenosti. Razlog leži u obliku mreže sekundarne šumske infrastrukture, koja zbog terenskih, vlasničkih i gospodarskih (pokusne plohe) prilika nije uvijek najkraći mogući smjer privlačenja drva do šumske ceste.

U odjelima 2 i 11 srednja stvarna udaljenost privlačenja drva niža je od srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva zbog izraženih površinskih prepreka (Đuka 2014) i vodotoka (odsjek 2a) koji su utjecali na položaj, odnosno skratili su duljinu traktorskih vlaka u odnosu na idealne (geometrijske) uvjete iskazane srednjom geometrijskom udaljenosti privlačenja drva.

Odsjeci 16b i 17b ne sadrže sekundarnu šumsku infrastrukturu (srednja stvarna udaljenost privlačenja drva jednaka je nuli) zbog strmih terena podložnih eroziji čije su sastojine prepuštene prirodnomu razvoju.

U odjelu 18 (slika 6) srednja stvarna udaljenost privlačenja drva manja je od geometrijske udaljenosti zbog relativno guste mreže sekundarnih prometnica (ukupne duljine 2705 m), odnosno gustoće sekundarne mreže prometnica od 146,64 m/ha.

Analiza faktora privlačenja drva (prema izrazu 5) odjela/odsjeka GJ Belevine (slika 6) pokazala je širok raspon podataka od najmanjih 0,32 (odsjek 18c) do najvećih 3,25 (odsjek 10 b).

### 3.5 Prijedlog daljnjega otvaranja šuma *Proposal of Additional Forest Opening*

Odjel 18 zaseban je izdvojeni odjel površine 18,2 ha (opseg 2,585 km), okružen privatnim šumskim i poljoprivrednim površinama bez neposrednoga dodira s primarnom šumskom transportnom infrastrukturom. Pri dosadašnjem gospodarenju odjelom 18 drvo se privlačilo po poljskom putu koji spaja sjeveroistočni rub odjela i kraj nerazvrstane ceste (odvojak od lokalne ceste LC 5831), s neprimjerenim pomoćnim

stovarištem koje se nalazilo na privatnoj površini – okućnici te povremenim (veće udaljenosti privlačenja) privlačenjem drva po poljskom putu koji spaja jugoistočni rub odjela i lokalnu cestu LC 58031 (Đuka 2014).

Provedene analize primarne otvorenosti šuma pokazale su da se najznačajnija neotvorena površina šuma istraživanoga područja odnosi na odjel 18 GJ Belevine, sa srednjom geometrijskom udaljenošću privlačenja drva od  $478 \pm 149$  m (najveća vrijednost 762 m), te 17,82 ha neotvorene površine prema ciljanoj udaljenosti privlačenja drva od 200 m. Navedenim, u odjelu 18 je 97,91 % površine neotvoreno, što čini 19,33 % neotvorene površine na razini cijele gospodarske jedinice.

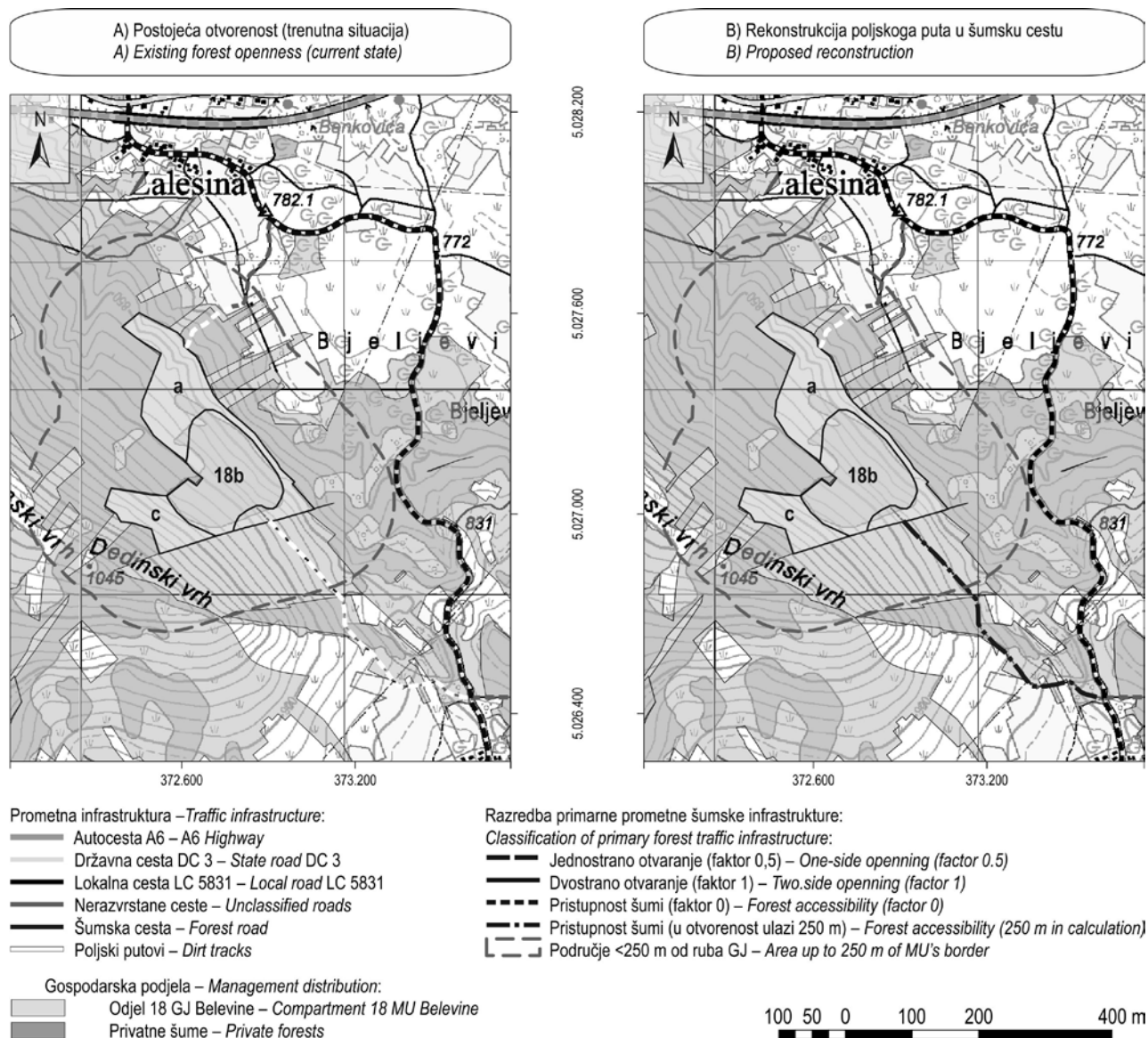
Prijedlog otvaranja odjela 18 GJ Belevine (slika 7) odnosi se na rekonstrukciju (proširenje i izradu gornjega ustroja) postojećega poljskoga puta (odgovarajuće nivelete i radijusa kružnih lukova) duljine 874 m u šumsku cestu (s okretnicom na kraju), koja bi spojila i omogućila pristup jugoistočnomu rubu odjela i lokalnoj cesti LC 58031 (Zalesina – Stari Laz), čime bi se za 288 m povećala duljina prometnica u području < 250 m od ruba istraživanih gospodarskih jedinica, odnosno za 250 m povećala duljina prometnica u obračunu njihove otvorenosti istraživanih (6349 km → 6599 km).

Prijedlog otvaranja odjela 18 značajnije je pokazao svoj utjecaj na promjenu parametara otvorenosti GJ Belevine: 1) gustoće cesta (22,11 m/ha → 22,98 m/ha), 2) teorijskoga razmaka među cestama (452,3 m → 435,2 m), 3) srednje teorijske udaljenosti privlačenja drva (113,1 m → 108,8 m), 4) prosječne geometrijske (euklidske) udaljenosti privlačenja drva (156,7 m → 142,3 m), 5) faktora mreže prometnica (1,38 → 1,31).

Predložena rekonstrukcija poljskoga puta u šumsku cestu najznačajnije je utjecala na smanjenje srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva odjela 18 (478 m → 253 m), odnosno njegovih pojedinih odsjeka: 18a (373 m → 254 m), 18b (509 m → 214 m) i 18c (677 m → 344 m). Dobivene rezultate svakako treba poimati i kroz smanjenje standardnih devijacija srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva odjela/odsjeka, odnosno smanjenje najmanjih i najvećih vrijednosti udaljenosti privlačenja drva.

## 4. Zaključak – Conclusion

Provedene su analize otvorenosti šuma pokazale jasnoću načina izračuna gustoće cesta (Pravilnik o provedbi mjere M04) s obzirom na kategorije površina šumskoga zemljišta na koje se izračun odnosi te značenje položaja primarne šumske prometne infra-



Slika 7. Postojeća otvorenost i prijedlog otvaranja odjela 18, GJ Belevine

Fig. 7 Current and proposed state in compartment 18, MU Belevine

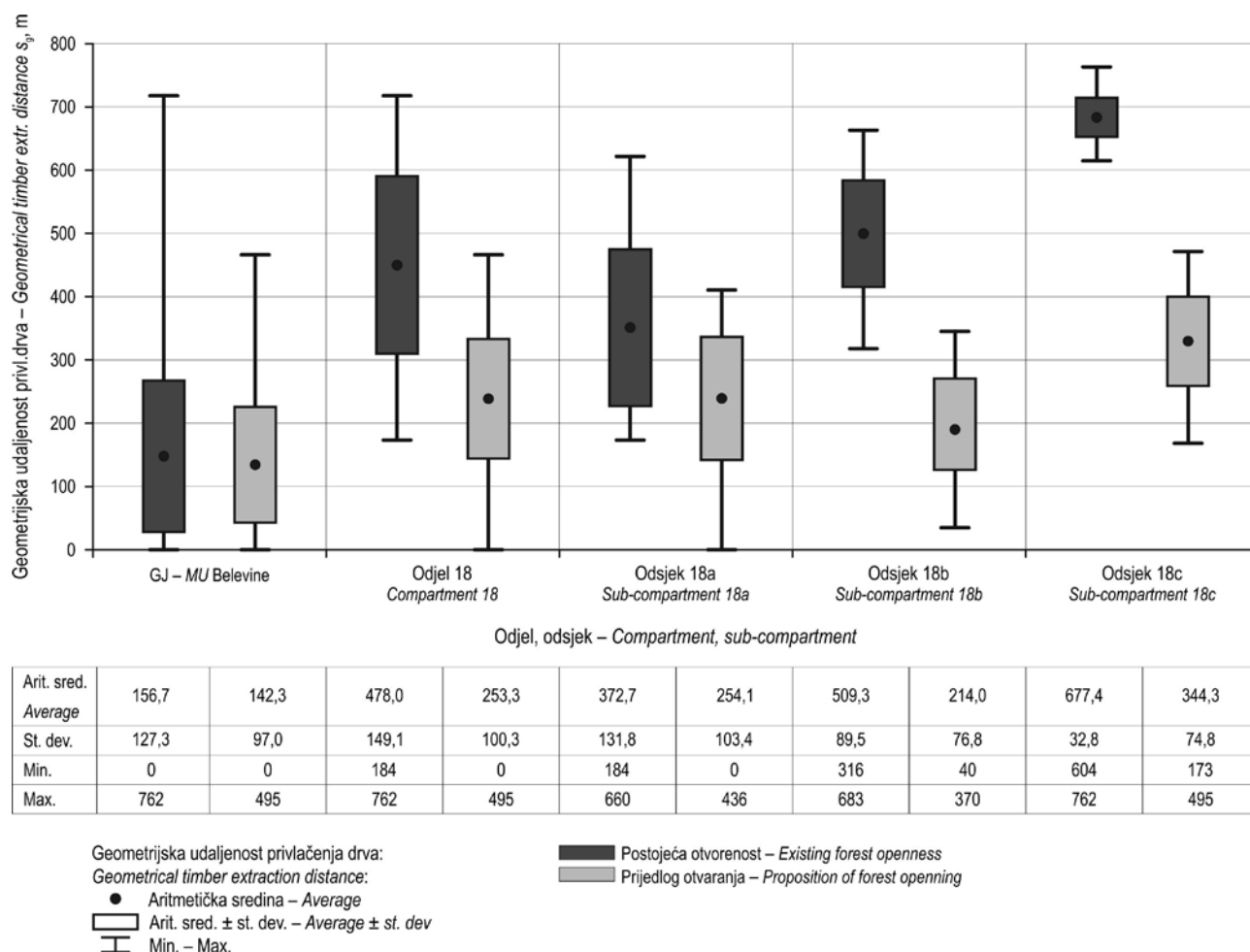
strukture s obzirom na to otvara li ona jednostrano ili dvostrano šumsku površinu.

Predložena metoda utvrđivanja srednje stvarne udaljenosti privlačenja drva (GIS-ov alat *Path Distance*) na razini odjela/odsječka, zasnovana na katastru primarnih i sekundarnih šumskih prometnica te digitalnom modelu terena, ali i na ograničenom kretanju vozila po mreži sekundarne šumske infrastrukture, rješava jedan od značajnijih problema operativnoga planiranja privlačenja drva.

Provedene analize odnosa srednje stvarne (GIS-ov alat *Path Distance*) i srednje geometrijske udaljenosti

(GIS-ov alat *Euclidean Distance*) privlačenja drva pojedinih odjela/odsječka pokazale su nekorektnost popćavanja faktora privlačenja drva za cijele gospodarske jedinice, odnosno reljefna područja na operativnoj razini planiranja pridobivanja (privlačenja) drva.

Provedena analiza prijedloga otvaranja odjela 18 potvrdila je smjernice Penteka i dr. (2005, 2006) za potrebom izrade studije primarnoga otvaranja šuma radi racionalizacije (skup postupaka za postizanje ušteda u poslovanju) jednoga dijela šumarske proizvodnje odnosno Pravilnika o provedbi mjere M04 (NN 106/2015, 65/2017, 77/2017) koji navodi nužnost izrade elaborata učinkovitosti mreže šumskih prometnica.



Slika 8. Analiza geometrijskih udaljenosti privlačenja drva u odjelu 18

Fig. 8 Analysis of geometrical timber extraction distances in compartment 18

## Zahvala – Acknowledgement

Istraživanje je provedeno u sklopu projekta »Optimizacija sustava pridobivanja drva i šumske prometne infrastrukture na strateško-taktičkoj razini planiranja« sufinanciranog od strane Ministarstva poljoprivrede sredstvima naknade za korištenje općekorisnih funkcija šuma.

## 5. Literatura – References

- Anon., 2009: Program gospodarenja šumama s posebnom namjenom, Nastavno-pokusni šumski objekt Zalesina, GJ Belevine 2010 – 2019. Šumarski fakultet, Zagreb, 2009, 1–178.
- Avdibegović, M., N. Petrović, D. Nonić, B. Marić, S. Posavec, D. Vuletić, 2010: Spremnost privatnih šumoposjednika u Hrvatskoj, Srbiji i Bosni i Hercegovini na suradnju pri izgradnji i održavanju šumskih cesta. Šumarski list, 134(1–2): 55–63.

Bumber, Z., 2011: Primjena GIS-a pri analizi otvorenosti G.J. Šiljakovačka dubrava II kroz strukturu prihoda drva u prostoru i vremenu. Magistarski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–139.

Đuka, A., 2014: Razvoj modela prometnosti terena za planiranje privlačenja drva skiderom. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–303.

Lepoglavec, K., 2014: Optimizacija primarne i sekundarne šumske prometne infrastrukture nagnutih terena. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–341.

Lovrić, N., 1973: Planiranje mreže šumskih puteva u okviru nastavnog programa zagrebačkog Šumarskog fakulteta. Šumarski list, 97(3–4): 132–137.

Papa, I., 2014: Modeli održavanja šumskih cesta na različitim reljefnim područjima. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–286.

Papa, I., T. Pentek, K. Lepoglavec, H. Nevečerel, T. Poršin-sky, Ž. Tomašić, 2015: Metodologija izradbe detaljnog regi-

stra primarne šumske prometne infrastrukture kao podloge za planiranje i optimizaciju radova održavanja šumskih cesta. Šumarski list, 139(7–8): 311–328.

Pentek, T., D. Pičman, H. Nevečerel, 2004: Srednja udaljenost privlačenja drva. Šumarski list, 128(9–10): 545–558.

Pentek, T., D. Pičman, H. Nevečerel, 2005: Planiranje šumskih prometnica – postojeća situacija, determiniranje problema i smjernice budućeg djelovanja. Nova mehanizacija šumarstva, 26(1): 55–63.

Pentek, T., D. Pičman, H. Nevečerel, 2006: Uspostava optimalne mreže šumskih cesta na terenu – smjernice unaprijeđenja pojedine faze rada. Glasnik za šumske pokuse, posebno izdanje, 5: 647–663.

Pentek, T., D. Pičman, H. Nevečerel, K. Lepoglavec, I. Papa, I. Potočnik, 2011: Primarno otvaranje šuma različitih reljefnih područja Republike Hrvatske. Croatian Journal of Forest Engineering, 32(1): 401–416.

Potočnik, I., 1996: Mnogonamenska raba gozdnih cest kot kriterij za njihovo kategorizaciju. Disertacija, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani, 1–241.

Segebaden, G., 1964: Studies of Cross-Country Transport Distances and Road Net Extension. Studia Forestalia Suecica, 18: 1–70.

Stampfer, K., 2010: Forest Engineering – Course Script. Institute of Forest Engineering, Department of Forest and Soil Sciences, University of Natural Resources and Life Sciences – BOKU, Vienna, Austria, 1–151.

Šikić, D., B. Babić, D. Topolnik, I. Knežević, D. Božičević, Ž. Švabe, I. Piria, S. Sever, 1989: Tehnički uvjeti za gospodarske ceste. Znanstveni savjet za promet Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, Zagreb, 78 str.

Valeria, O., I. Cea, Y. Bergeron, 2011: A review of skidding distances method under variable retention harvesting considerations. Proceedings of the 34th Council on Forest Engineering 12–15 lipnja, Université Laval, Quebec City, Canada, 1–12.

\* Zakon o šumama (NN 140/05, 82/06, 129/08, 80/10, 124/10, 25/12, 68/12, 148/13, 94/14)

\* Zakon o cestama (NN 84/11, 22/13, 54/13, 148/13, 92/14)

\* Zakon o željeznici (NN 94/13, 148/13, 73/17).

\* Pravilnik o provedbi mjere M04 »Ulaganja u fizičku imovinu«, podmjere 4.3. »Potpora za ulaganja u infrastrukturu vezano uz razvoj, modernizaciju i prilagodbu poljoprivrede i šumarstva«, tipa operacije 4.3.3. »Ulaganje u šumsku infrastrukturu« iz Programa ruralnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje 2014. – 2020. (NN106/15, 65/17, 77/17)

\* Odluka o razvrstavanju javnih cesta (NN 96/16)

## Abstract

### *Forest Openness of Management Unit Belevine, FTTC Zalesina with Proposal for Further Opening*

*High quality of forest traffic infrastructure is one of the prerequisites for rational forest environmental management. Inadequate openness and unfavorable distribution of primary and secondary transport infrastructure leads to problems in management and increases the costs of wood supply. This paper shows the present state of primary and secondary road openness of the Management Unit Belevine, presenting the actual timber extraction distances at compartment/sub-compartment level, and gives a proposal for further opening of the spatially separated compartment 18 of the researched management unit. Compartment 18 represents the least open area of the Management Unit Belevine and it is also fully surrounded by private forests and agricultural land. Computer programs ArcGIS 10.1, and QGIS 2.14.3 were used for analyzing the parameters of openness of the researched area. The actual average timber extraction distance at the management unit level was  $156.7 \pm 127.3$  m, with a maximum distance of 762 m and a total off-road correction factor of 2.02. Off-road correction factor at compartment/sub-compartment level indicated a wide range of data, ranging from the lowest 0.32 to the highest 3.25, which prompted the use of converting factors at the lowest operating level. After the proposed reconstruction of the dirt track into the forest road, the geometric timber extraction distances were reduced in compartment 18 (478 m → 253 m), and in sub-compartments 18a (373 m → 254 m), 18b (509 m → 214 m) and 18c (677 m → 344 m).*

*Keywords: average timber extraction distance, primary forest openness, secondary forest openness, GIS*



---

Adrese autorâ – *Authors' addresses:*

Dr. sc. Andreja Đuka  
e-pošta: aduka@sumfak.hr  
Prof. dr. sc. Tibor Pentek  
e-pošta: tpentek@sumfak.hr  
Prof. dr. sc. Tomislav Poršinsky  
e-pošta: tporsinsky@sumfak.hr  
David Janeš, mag. ing. silv.\*  
e-pošta: djanes@sumfak.hr  
Dr. sc. Ivica Papa  
e-pošta: ipapa@sumfak.hr  
Zavod za šumarske tehnike i tehnologije  
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
Svetošimunska 25  
10 000 Zagreb  
HRVATSKA

Mislav Starčević, mag. ing. silv.  
e-pošta: mislav.19930@gmail.com  
Kralja Tomislava 41  
53000 Gospić  
HRVATSKA

\* Glavni autor – *Corresponding author*

Primljeno (*Received*): 19. 7. 2017.  
Prihvaćeno (*Accepted*): 6. 9. 2017.

# Determination of Average Skidding Distance Using GIS

Vladimir Petković, Dane Marčeta, Darko Ljubojević, Jovan Kuburić

## Abstract – Nacrtak

*Transport of wood is one of the most expensive components of wood production. It usually consists of three phases: winching, skidding and long-distance transport. The first and the second phase of transport are the most important in terms of costs. They depend on the distance between the tree-felling area in the forest and the nearest forest road. That distance is the skidding distance. Determination of the skidding distance is very important for forestry operational planning because it is an indicator of forest accessibility and it is directly connected with costs. The skidding distance can be obtained in several ways: by on-site measurement, by calculation using mathematical models and by using GIS software like ArcGIS 10. Skidding distance can be defined as geometric and real. Real skidding distance is a product of geometric skidding distance and skidding factor. Skidding factor depends on the terrain slope and presence of terrain obstacles. Geometric skidding distance can be obtained by using ArcMap module of ArcGIS 10 software, and it is defined as the distance between the compartment centroid and the nearest point on the forest road. In this research, the skidding factor was based on spatial analysis of Digital Terrain Model (DTM). The real skidding distance, calculated using ArcGIS 10 software, was compared with skidding distances from Operational Plans for eight compartments in the Management Unit »Bobija-Ribnik« in the Forest Management »Oštrelj-Drinić« Petrovac. The skidding factor for the given terrain conditions in the eight selected compartments was calculated as the relation between the real skidding distance from Operational Plans and geometric skidding distance gained by ArcGIS 10 software.*

*Key words: transport, skidding factor, DTM, GIS*

## 1. Introduction and research problem

### *Uvod i problematika istraživanja*

Produced wood assortments must be transported to wood processing plants or to final users. Transport usually consists of three phases: winching or collecting timber, primary and secondary transport. Winching or collecting is a transport phase in which wood assortments are moved from the stump to the secondary forest network (skidding trails, skidding roads or cable strips). Skidding is carried out by secondary forest transportation network (skidding trails, skidding roads or cable strips). Timber extraction (skidding, forwarding, etc.) is defined as timber transport on secondary transportation network to the forest landing site or to the forest road. Long distance transport is the transport of wood assortments, most often by trucks on forest and public roads to wood processing com-

panies or final consumers. Transport is a very important and the most expensive component of the production of wood assortments. According to Sokolović and Bajrić (2013), transport costs account for up to 80% of wood assortment production costs. Cost ratio between road transport, skidding and winching is 1:10:100 (Ljubojević 2010). Jeličić (1983) says that skidding costs are 20–30 times higher than those of truck transport on forest roads. The average transport distance or the average skidding distance is the average distance between the felling site and forest road or forest landing site. When establishing the average extraction distance, it is usually assumed that wood is equally distributed all over the felling area or that it is concentrated in the gravity point of a given compartment / sub-compartment. To conclude, the average extraction distance is the distance between the center of gravity of the felling site (compartment/sub-compartment)

and the forest road, thus defined as an average geometric extraction distance. The average geometric skidding distance is actually shorter than the real skidding distance because of terrain slope and obstacles, and should therefore be multiplied by the correction factor i.e. skidding factor. Analytic methods or modern GIS based tools are used for the determination of the average geometric skidding distance (Pentek et al. 2004, Pentek et al. 2005, Ljubojević 2010, Potočnik et al. 2011, Petković et al. 2015). Position, mutual distance and density of forest roads, as well as terrain and stand conditions, are the factors that influence the average extraction distance.

Klemenčić (1939) analyzed the influence of the shape of forest road network and skidding distance on the road of the same length and forest area and established the relation between the skidding length and skidding factor (Sokolović and Bajrić 2013). According to Jeličić (1983), for the same density of forest roads, lowland forests are better opened than mountain forests, because assortments could usually be extracted to both sides of the road in a straight line. In hilly-mountain conditions, the skidding distance is greater because of terrain slope, network layout and because skidding is usually done downhill (Sokolović and Bajrić 2013).

The average skidding distance could be determined as a weighted average, where weights are the felling sites or volume of timber that should be skidded to the forest road (Nikolić 1993). Based on the existing and optimal forest road density, the current and targeted average skidding distance could be calculated (Rebula 1981, Pičman 2007).

Cotemporary GIS based software provides easy, fast and accurate determination of the gravity center of an irregular surface and geometric distance from the forest road. Forming of appropriate GIS models (raster, vector and database) is the precondition for the calculation of the average transport distance.

The average geometric transport skidding distance, calculated analytically or GIS based, should be multiplied by the skidding distance factor in order to get the real average skidding distance. The real skidding distance is calculated according to equation:

$$S_{ds} = S_{dG} \times k_G \quad (1)$$

Where:

- $S_{ds}$  real average skidding distance
- $S_{dG}$  average geometric skidding distance
- $k_G$  correction factor (Pentek et al. 2004, Pentek et al. 2005, Ljubojević, 2010, Potočnik et al. 2011, Petković et al. 2015).

According to Segebaden (1964), in Sweden the average skidding distance correction factor for lowland area is 1.2, and for mountain area 1.5. According to FAO (1974), the factor of distance extension is 1.6–2.0 for lowland area and 3.6 for steep terrain (Lotfalian et al. 2011). According to Nikolić (1993), the skidding factor  $k$  is 1.1 or 1.2 and distance extension because of terrain inclination is  $1/\cos \alpha$ ;  $\alpha$  – terrain inclination.

Pentek et al. (2004) report that according to Abegg (1978) the distance extension coefficient is from 1.15 for lowlands to 1.65 for mountains, with 1.44 on average. The total coefficient for lowlands and hilly terrain is 1.8. Stankić (2010) established the correction coefficient for transport with forwarders from 1.2 to 2.5, or 1.3 on average. The average skidding factor for lowland and hilly terrain conditions is 1.475 (Petković et al. 2015).

Skidding factor varies from 1.101 to 2.687, depending on terrain slope and development of secondary forest transport network (Šipad-IRC 1987, Sokolović and Bajrić 2013).

When considering the importance of the average extraction distance as one of the four indicators of forest accessibility, besides absolute and relative forest accessibility and coefficient of efficiency of forest road network, then the skidding distance stands out as the most important transport component. The determination of the average skidding distance emerges as a very important part of planning of forest accessibility and harvesting. Construction of new forest roads in order to increase forest accessibility could be economically justified only if the average extraction distance is shortened (Sokolović and Bajrić 2013).

This research is based on the assumption that the average extraction distance determined in Operational Plans differs from the distance gained by ArcGIS, and that the skidding factor differs accordingly.

## 2. Research area – *Područje istraživanja*

The Forest Management Unit »Bobija-Ribnik« (MU »Bobija-Ribnik«) is located in the western part of the Republic of Srpska and belongs to the Forest Management »Oštrelj« Drinić (FM »Oštrelj« Drinić), placed in the municipality of Petrovac. The central coordinates are 44°30'26" N and 16°27'58" E. The main characteristics of MU »Bobija-Ribnik«, such as the surface of forests and forest land, surface of forest categories, geology and soil conditions, growing stock, etc., are taken from the Forest Management Plan (2013–2022) for the forest management area »Petrovačko«.

MU covers the internal Dinaric phytogeographical area, western-Bosnian limestone and dolomite area that belongs to the Euro-Siberian-North American region. MU stretches between the mountains of Grmeč in the north, Oštrej in the northwest and Lom in the southwest. Beech and sycamore maple forests (*Aceri obtusati Fagetum*) are present in this area, while fir and spruce forests are the basic substrates. These forests represent the final stage in succession of the community *Piceo-Pinetum Illyricum* Stef. toward *Abieti-Fagetum Illyricum* or *Piceo-Abieti-Fagetum dinaricum*. Geological substrates are limestone and dolomite. Several types of soil are present, namely mollicleptosol, brown soil on limestone, illimerized soil and rendzina.

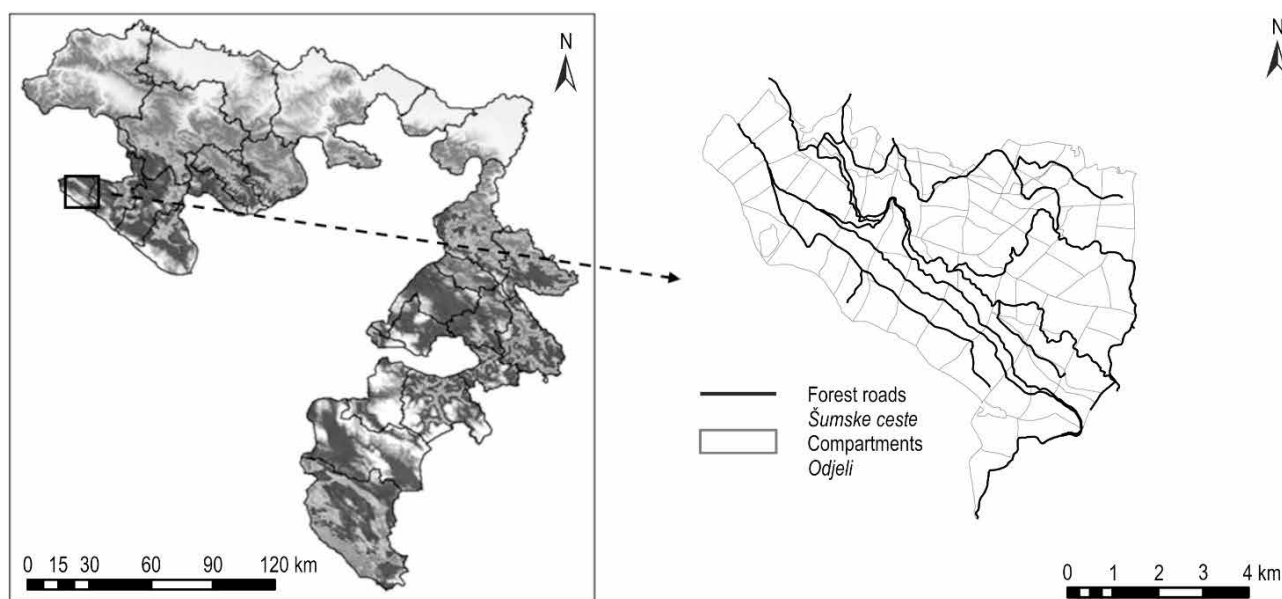
MU »Bobija-Ribnik« covers 4372.41 ha, of which 4188.59 ha is covered by high forests with natural regeneration (Fig. 1). These forests consist of the following stands: high secondary forests of beech in the area of beech and fir forest on mollicleptosol and luvisols (1109) with the surface of 605.35 ha; Forests of beech and fir with spruce on mollicleptosol and brown soil on limestone (1238) with the surface of 2367.66 ha and beech and fir forests on mollicleptosol and brown soil on limestone (1239) with the surface of 1215.58 ha. The average growing stock in high forests is 413.1 m<sup>3</sup>/ha or 1,730,830 m<sup>3</sup> in total. The increment is 11.27 m<sup>3</sup>/ha. The total length of forest roads is 65.47 km, while the total length of forest roads in high forests is 64.14 km. Accordingly, total forest accessibility is 15.18 km/1000 ha

and high forest accessibility is 15.66 km/1000 ha. According to the harvesting plan for the whole Management Unit, it is planned to cut down 361,831 m<sup>3</sup> of wood in total or 297.77 m<sup>3</sup> of gross wood, or 70.06 m<sup>3</sup>/ha in a 10-year period, of which high forests account for 357,836 m<sup>3</sup> of total wood or 294,442 m<sup>3</sup> (70.3 m<sup>3</sup>/ha) of gross wood.

### 3. Methods – Metode

In this study, geometric transport distance is determined using spatial analysis in ArcGIS 10 software. Geometric distance is multiplied by the skidding factor to get the real average transport distance. Skidding factor is determined on the basis of inclination and characteristics of the forest area according to specific relief area, classified by altitude. According to Kalmeta (1983), lowlands are up to 200 m; hilly area is between 201–500 m; low mountains are between 501–1000 m; medium mountains are between 1001–1500 m and high mountains are between 1501–2000 m (Bertović 1999). Calculated in this way, geometric and real average transport distance is compared to the average extraction distance from official Operational Plans for compartments 19, 20, 21, 22, 37, 47, 48 and 22/1.

On the basis of the digital terrain model (DTM), rasters are formed in software ArcGIS 10, in module ArcMap 10. Resolution of the used DTM is 5x5 m. Using »Extract by Mask« tool, DTMs for specific area and altitudes are obtained. DTMs are classified according



**Fig. 1** Location of MU »Bobija-Ribnik« on the map of the Republika of Srpska

**Slika 1.** Položaj gospodarske jedinice (GJ) »Bobija-Ribnik« na karti Republike Srpske

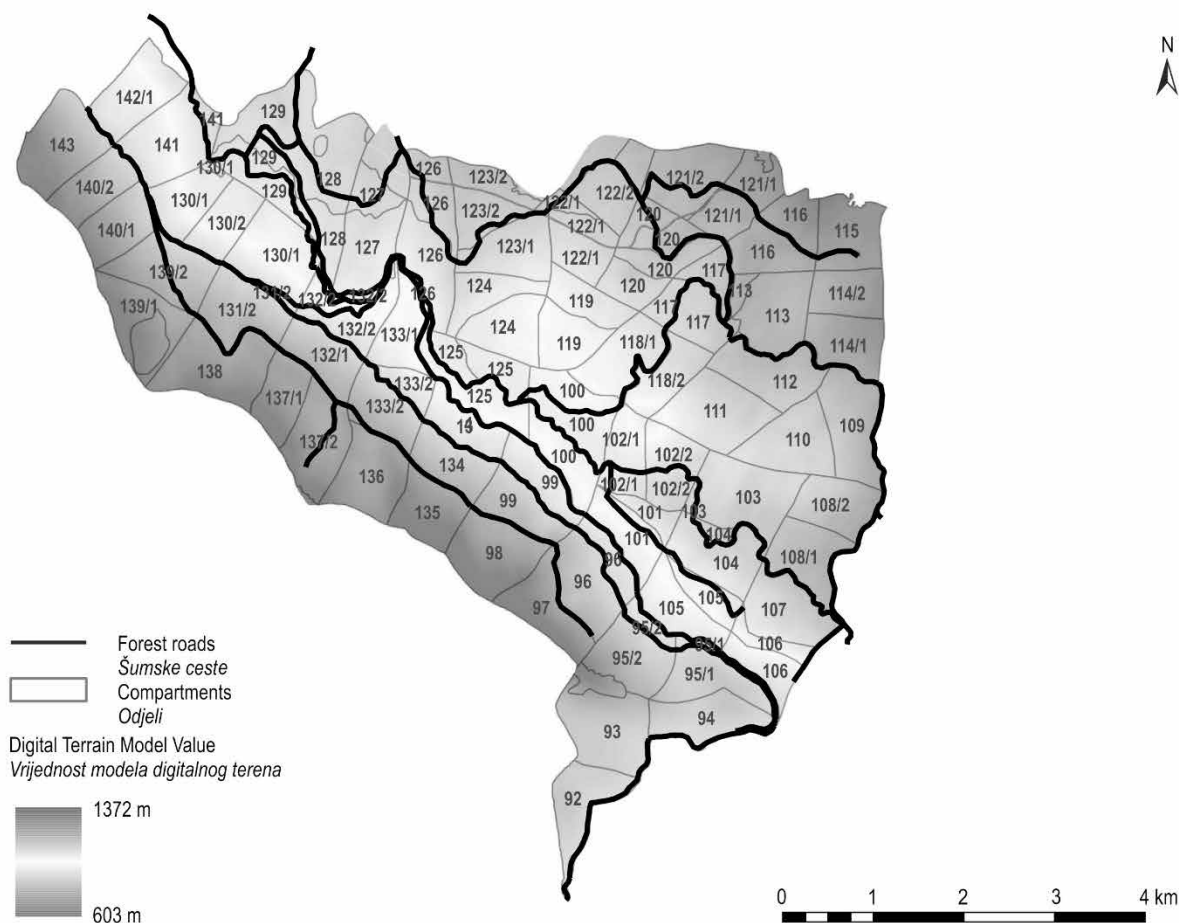
to altitude and maps of the relief area and their surfaces are created. Terrain slope raster is classified in five categories:  $\leq 15\%$ , 16–30%, 31–45%, 46–60% and  $\geq 60\%$ , and using »Reclassify« tool, relative shares of slope categories are determined. The first step in the determination of the Average Geometric Transport Distance in ArcGIS software is to determine the compartment gravity center using the »Feature to point« tool. It is then necessary to determine the center of gravity of each compartment with regard to the nearest point on the forest road as well as establish the skidding direction. Therefore, the real average skidding distance is the product of geometric skidding distance and skidding factor. This factor is established as an average value of the average skidding factor, which depends on the slope and developing lines (ŠIPAD-IRC 1987), and relief skidding factor, which ranges between 1.2 for lowland area and 1.7 for sub-mountain area according to Lepoglavec (2014). Multi-

plying the share of a specific relief area and slope in the whole management unit and skidding factor for a given relief area and terrain slope, the skidding factor for each relief area and slope class was obtained. The final skidding factor is the average value of individual factors. The length of skidding trails, cutting volume, terrain conditions and similar data were taken from official Operational Plans.

#### 4. Results and discussion – *Rezultati s raspravom*

Altitude obtained after spatial analysis of 5 x 5 DTM varies from 603 m to 1372 m (Fig. 2).

Classification of DTM according to altitude resulted in two relief areas: low mountains and middle mountains. So, this area essentially belongs to the mountain relief area (Table 1) (Fig. 3).



**Fig. 2** Map of altitude of MU »Bobija-Ribnik«

**Slika 2.** Kartografski prikaz vrijednosti nadmorskih visina za GJ »Bobija-Ribnik«



**Table 1** Relief area**Tablica 1.** Reljefno područje

| Relief area – <i>Reljefno područje</i>      | DTM 5 × 5m |      |
|---|------------|------|
|   | ha         | %    |
| Low mountains – <i>Nisko planinsko</i>      | 2727.50    | 64.1 |
| Middle mountains – <i>Srednje planinsko</i> | 1529.13    | 35.9 |
| Total – <i>Ukupno</i>                       | 4256.63    | 100  |

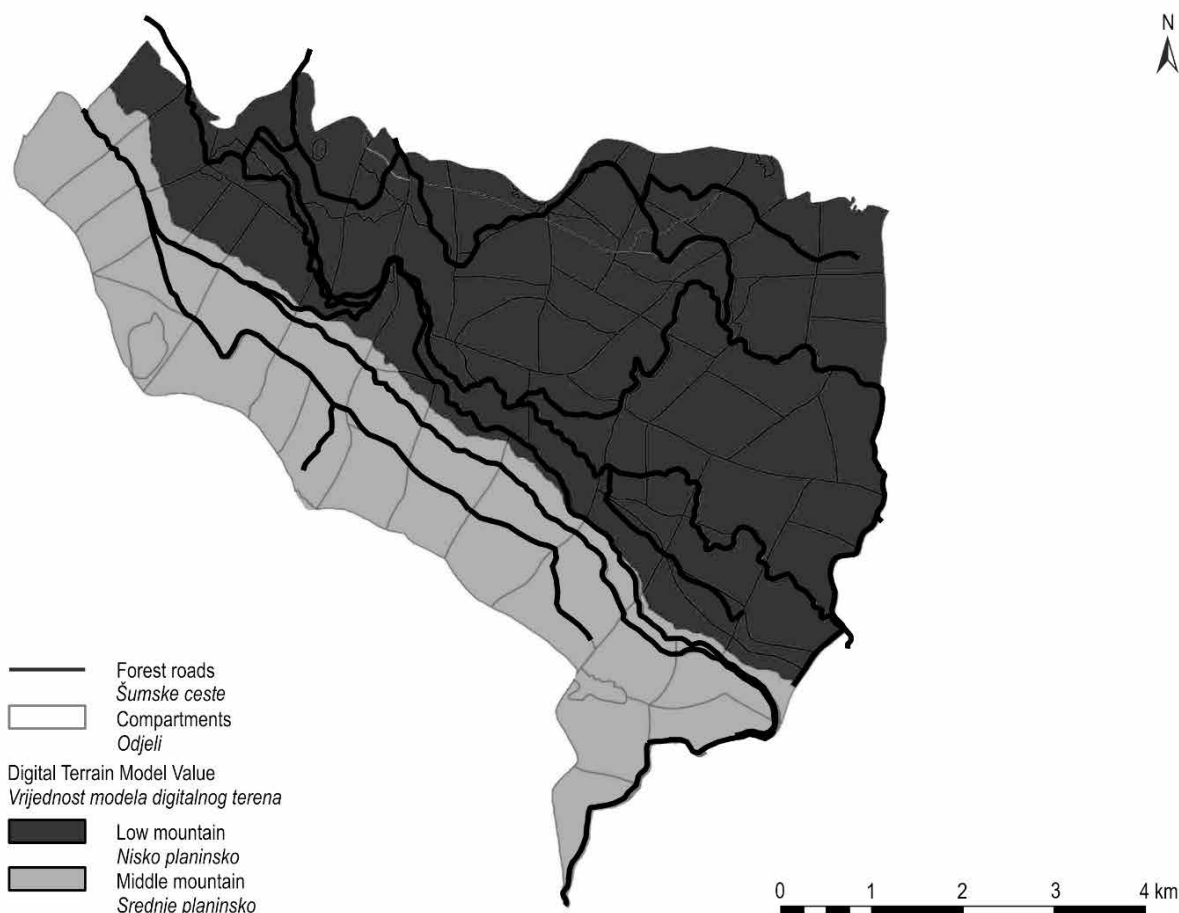
Slope is classified in five classes (Table 2) (Fig. 4).

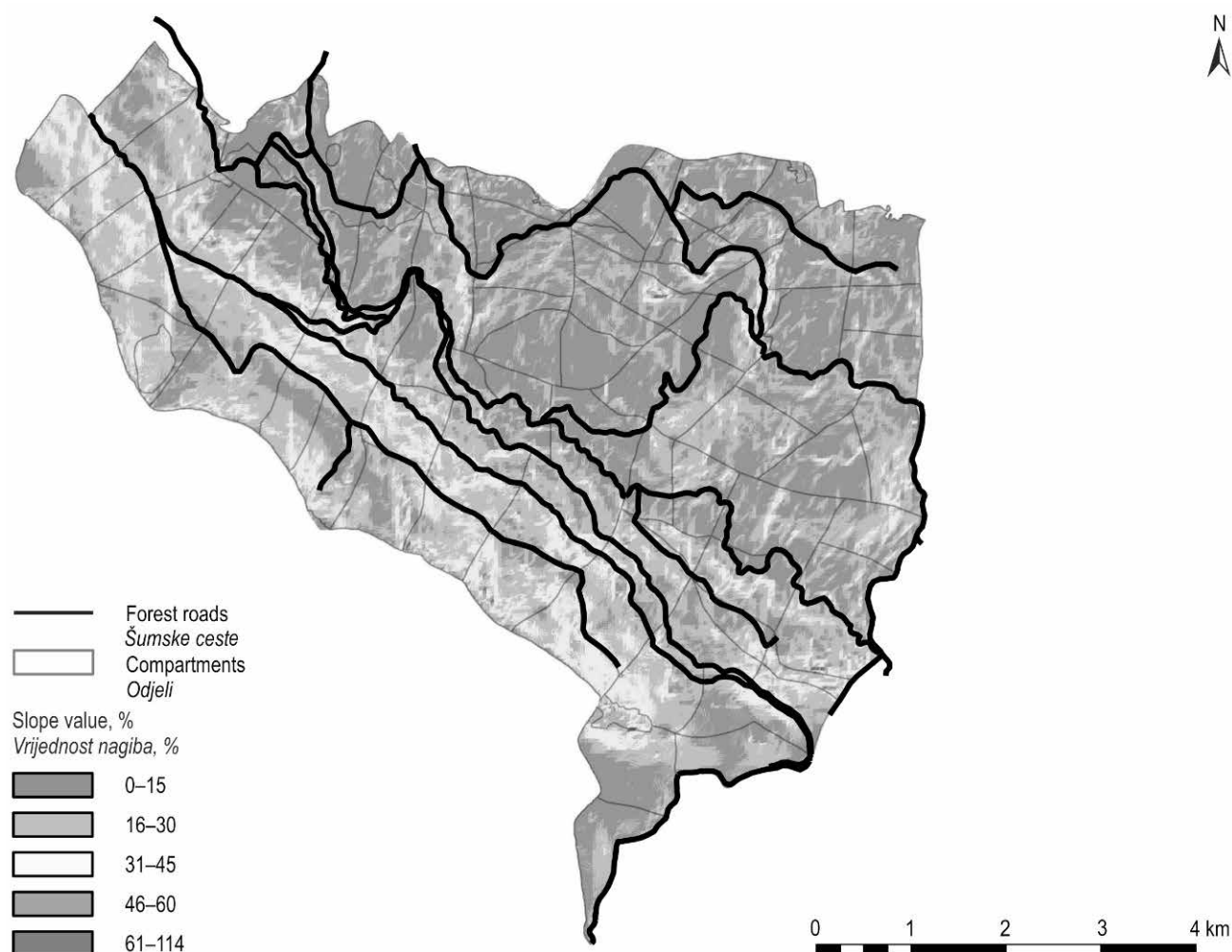
Geometric skidding distance obtained in ArcMap 10 module is from 143 m to 875 m, and the average value for MU »Bobija-Ribnik« is 315 m. The skidding distance is multiplied by the corresponding skidding factor in order to get the real average skidding distance. Relief raster and slope are used to determine the

**Table 2** Relief slope**Tablica 2.** Nagib reljefa

| Slope – <i>Nagib</i>  | DTM 5 × 5m |        |
|-----------------------|------------|--------|
|                       | ha         | %      |
| 0–15%                 | 1 817.55   | 42.7   |
| 16–30%                | 1 812.15   | 42.6   |
| 31–45%                | 580.93     | 13.6   |
| 46–60%                | 42.96      | 1      |
| >60%                  | 3.04       | 0.07   |
| Total – <i>Ukupno</i> | 4 256.63   | 100.00 |

average skidding factor of geometric skidding distance. Skidding factor is calculated for relief area of low and middle mountains based on relative share in the total area (Table 3).

**Fig. 3** Map of relief area**Slika 3.** Kartografski prikaz reljefa područja istraživanja

**Fig. 4** Slope in research area**Slika 4.** Kartografski prikaz nagiba reljefa**Table 3** Skidding factors for relief area**Tablica 3.** Faktor privlačenja za reljefno područje

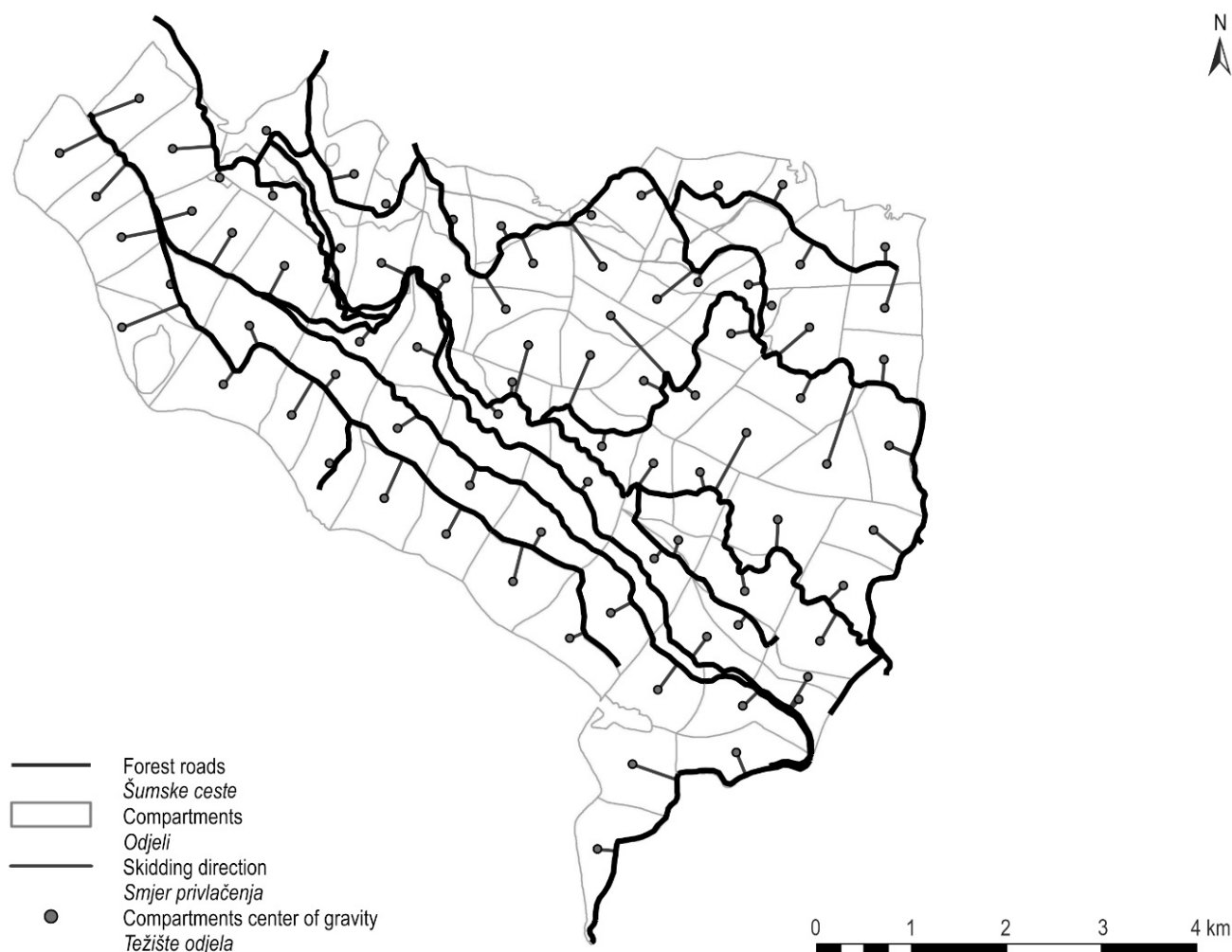
| Relief area<br><i>Reljefno područje</i>      | Skidding factor<br><i>Faktor privlačenja</i> | DTM 5 × 5m  |
|--|--|-------------|
| Low mountains<br><i>Nisko planinsko</i>      | 1.55   | 0.64 (0.99) |
| Middle mountains<br><i>Srednje planinsko</i> | 1.7  | 0.36 (0.61) |
| Total – <i>Ukupno</i>                        |  | 1.60        |

**Table 4** Skidding factor by slope categories**Tablica 4.** Faktor privlačenja po kategorijama nagiba

| Slope<br><i>Nagib</i> | Skidding factor<br><i>Faktor privlačenja</i> | DTM 5 × 5m     |
|-----------------------|--|----------------|
| 0–15% (7.5%)          | 1.1035                                       | 0.43 (0.47)    |
| 16–30% (22.5%)        | 1.2305                                       | 0.43 (0.52)    |
| 31–45% (37.5%)        | 1.3625                                       | 0.14 (0.185)   |
| 46–60% (52.5%)        | 1.5815                                       | 0.01 (0.02)    |
| 60–114% (87.5%)       | 2.3265                                       | 0.0007 (0.002) |
| Total – <i>Ukupno</i> |  | 1.197          |

The average skidding factor is calculated on the basis of the relative share of slope categories in the

total area and distance extension due to obstacles (Table 4).



**Fig. 5** Map showing center of gravity of compartments and skidding directions in MU »Bobija-Ribnik«

**Slika 5.** Kartografski prikaz težišta odjela i smjera privlačenja u GJ »Bobija-Ribnik«

The total average skidding factor is 1.2 (1.197). The average skidding factor of geometric skidding distance is 1.4. According to Segebaden (1964), the average skidding factor is 1.35, according to Abbeg it is 1.44 (Pentek et al. 2004) and 1.46 (Lepoglavec 2014).

The total average skidding factor is multiplied by geometric distance for each compartment and in that way the real average skidding distance is calculated; it is 447 m (204–1242 m).

The calculated skidding distances are compared with distances established in official Operational Plans for the compartments involved (Table 5).

When foresters measure transport distances with the purpose of preparing Operational Plans, the usual procedure in practice is to round distances to the nearest whole number, which can have a negative effect on accuracy. The reason for such a practice lies

in the so called Standard Times for Forestry Work (2002), used by local forestry, where skidding depends on skidding distance, winching distance and average load volume.

The real average skidding distance  $S_d$  determined in Operational Plans in the investigated compartments is 350 m. The average geometric skidding distance  $S_{dg}$ , determined in ArcGIS 10 software is 298.5 m, and the real average skidding distance  $S_{ds}$  is 418 m, with the skidding factor of 1.307. Considering that the skidding factor calculated on the basis of DTM is 1.4, it can be assumed that the average skidding factor for this area is 1.35.

The relation between the average skidding distances, determined in two ways, shows that skidding distances in Operational Plans are 7% lower than those calculated in ArcGIS.

**Table 5** Average skidding distances and relations between them  
**Tablica 5.** Srednje duljine privlačenja i međusobni odnos

| Compartment<br>Odjel | $S_d$ , m | $S_{dG}$ , m | $S_{dS}$ , m | $S_d/S_{dG} = k_G$ | $S_d/S_{dS}$ |
|----------------------|-----------|--------------|--------------|--------------------|--------------|
| 92                   | 300       | 187          | 262          | 1.604              | 1.145        |
| 93                   | 600       | 515          | 721          | 1.165              | 0.832        |
| 102/1                | 200       | 288          | 403.2        | 0.694              | 0.496        |
| 118/1                | 400       | 199          | 278.6        | 2.010              | 1.436        |
| 118/2                | 300       | 149          | 208.6        | 2.013              | 1.438        |
| 126                  | 300       | 241          | 337.4        | 1.245              | 0.889        |
| 130/1                | 300       | 381          | 533.4        | 0.787              | 0.562        |
| 130/2                | 400       | 428          | 599.2        | 0.935              | 0.667        |
|                      | 350       | 298.5        | 417.9        | 1.307              | 0.93         |

$S_d$  – Real, average skidding distance in Operational Plans – *Stvarna prosječna udaljenost privlačenja u osnovi gospodarenja*

$S_{dG}$  – Average geometric skidding distance calculated in ArcGIS – *Prosječna geometrijska udaljenost privlačenja izračunata u ArcGIS-u*

$S_{dS}$  – Real average skidding distance calculated in ArcGIS – *Stvarna prosječna udaljenost privlačenja izračunata u ArcGIS-u*

$k_G$  – Skidding factor – *Faktori privlačenja*

## 5. Conclusions – Zaključci

Results show that ArcGIS 10 could be used for the determination of geometric and real average skidding distance, both for the management unit and for specific compartments. On the basis of terrain conditions, the average skidding factor was calculated and geometric  $S_{dG}$  and real  $S_{dS}$  skidding distances were compared with the skidding distance from Operational Plans  $S_d$ , calculated by forest practitioners. The assumption that real average skidding distances calculated in ArcGIS  $S_{dS}$  differ from distances in Operational Plans  $S_d$  has been confirmed with an 8% difference. By comparison of  $S_{dG}$  with  $S_d$ , the skidding factor of 1.307 was obtained for the investigated compartments, which differs from the correction factor of 1.4 calculated on the basis of terrain conditions. Accordingly, the average factor of 1.35 can be considered as relevant for the given conditions. This factor is in accordance with other researches, referenced in this study.

GIS software can be very useful in planning of forest openness and thereby for establishing average extraction distances. Forest openness planning requires precise information about terrain conditions, forest infrastructure, stand, etc. One of the main problems of local forestry is the lack of information about secondary forest transport network in digital shape, such as position, length and state of skidding roads and skid-

ding trails. This data is necessary for the determination of real extraction distances and skidding factors.

Defining skidding distance is crucial for skidding costs, and its determination should be approached very responsibly. Some recommended steps are as follows:

- ⇒ forming of comprehensive cadastre of forest roads
- ⇒ forming of cadastre of secondary forest network
- ⇒ forming of GIS databases for forest management units
- ⇒ optimization of primary and secondary forest road network.

## 6. References – Literatura

- Bertović, S., 1999: Reljef i njegova prostorna raščlamba. Šumarski, list 123(11–12): 543–563.
- Jeličić, V., 1983: Šumski putevi i ceste, SIZ odgoja i usmjerenog obrazovanja šumarstva i drvne industrije SRH. Zagreb, 1–193.
- Kalmeta, R., 1983: Nazivi brdo i brijeg u hipsoometrijskom sustavu nazivlja za uzvisine. Jezik, 31, Zagreb.
- Lepoglavec, K., 2014: Optimizacija primarne i sekundarne šumske prometne infrastrukture nagnutih terena. Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb, 1–266.
- Ljubojević, S., 2010: Principi otvaranja šuma u zavisnosti od terenskih uslova i načina prirodne obnove, Seminar na temu – »Sistemi gazdovanja u šumarstvu i njihova praktična primjena«. Agencija za šume Republike Srpske, Banja Luka, 39–51.
- Lotfalian, M., E. H. Zadeh, S. A. Hosseini, 2011: Calculating the correction factor of skidding distance based on forest road network. Journal of Forest Science, 57(11): 467–471.
- Nikolić, S., 1993: Iskorišćavanje šuma. Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, Beograd, 1–262.
- Pentek T., D. Pičman, I. Potočnik, P. Dvorščak, H. Nevečerel, 2005: Analysis of an existing forest road network. Croatian Journal of Forest Engineering, 26(1): 39–50.
- Pentek, T., D. Pičman, H. Nevečerel, 2004: Srednja udaljenost privlačenja drva. Šumarski list, 128(9–10): 545–558.
- Petković, V., D. Marčeta, S. Španjić, M. Kosović, 2015: Određivanje srednje distance privlačenja primjenom GIS-a u nizijsko-brdskim uslovima. Glasnik Šumarskog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci, 23: 5–14.
- Pičman, D., 2007: Šumske prometnice. Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb, 1–460.
- Potočnik, I., V. Petković, D. Marčeta, D. Ljubojević, 2011: Generalni projekat (Master plan) otvaranja šuma u Republici Srpskoj. Univerzitet u Banja Luci, Šumarski fakultet, Banja Luka.
- Rebula, E., 1981: Optimal openness of forests. Mehanizacija šumarstva, 3–4(5): 107–119.
- Segebaden, G., 1964: Studies of cross-country transport distances and road net extension. Studia Forestalia Suecica, 18: 1–70.

Sokolović, Dž., M. Bajrić, 2013: Otvaranje šuma. Univerzitet u Sarajevu, Šumarski fakultet, 1–250.

Standard Times for Forestry Work, 2002: Public Forestry Company »Šume Republike Srpske« a.d. Sokolac.

Stankić, I., 2010: Višekriterijsko planiranje izvoženja drva forvarderima iz nizinskih šuma Hrvatske. Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb, 1–123.

Studija otvaranja Gospodarske jedinice »Bobija-Ribnik«, RO »Šipad-Oštrelj« OOUR Šumarstvo, 1987: »Šipad-Irc« Sarajevo, OOUR biro za projektovanje Banja Luka: 1–50.

The Forest management plan (2013–2022) for forest management area »Petrovačko«, 2012: Public Forestry Company »Šume Republike Srpske« a.d. Sokolac, Forest Management »Oštrelj-Drinić«.

## Sažetak

### *Određivanje srednje udaljenosti privlačenja drva pomoću GIS-a*

Transport drva najskuplji je dio pridobivanja drva, koji uglavnom sadrži tri faze: skupljanje drva, privlačenje drva te daljinski transport drva, najčešće kamionskim skupovima. Prva i druga faza, koje se odvijaju pri privlačenju drva, a koje se još nazivaju i primarni transport, najvažnije su sa stajališta troškova, koji ovise o prosječnoj udaljenosti između šumskoga radilišta, tj. sječine i najbliže šumske ceste odnosno pomoćnoga stovarišta. Ta se udaljenost naziva srednja udaljenost privlačenja drva. Utvrđivanje srednje udaljenosti privlačenja drva izuzetno je važno za operativno planiranje u šumarstvu jer je to pokazatelj otvorenosti šuma i u izravnoj je vezi s troškovima pridobivanja drva. Vrijednost srednje udaljenosti privlačenja može biti utvrđena na više načina: izmjerom na terenu, izračunavanjem uz pomoć matematičkih modela te uz pomoć GIS-ovih programskih paketa, kao što je ArcGIS 10. Srednja udaljenost privlačenja drva može se iskazivati kao geometrijska i/ili stvarna. Srednju stvarnu udaljenost privlačenja drva čini umnožak srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva i faktora privlačenja drva. Faktor privlačenja drva ovisi o nagibu terena (vertikalna korekcija terena) te prisutnosti prepreka na površini (horizontalna korekcija terena) s koje se privlači drvo. Srednja geometrijska udaljenost privlačenja drva izračunata je pomoću modula ArcMap u računalnom programu ArcGIS 10 i definirana je kao udaljenost između težišta odjela i najbliže točke na šumskoj cesti. U ovom je istraživanju faktor privlačenja drva dobiven na temelju prostorne analize digitalnoga modela reljefa (DMR), odnosno na temelju nagiba i nadmorske visine terena. Stvarna srednja udaljenost privlačenja drva dobivena pomoću računalnoga programa ArcGIS 10 uspoređena je sa srednjim udaljenostima izračunatim u izvedbenim projektima osam uzorkovanih odjela u gospodarskoj jedinici »Bobija-Ribnik«, Šumarija »Oštrelj-Drinić« Petrovac, Republika Srpska. Zaključno, faktor privlačenja drva za terenske uvjete u osam uzorkovanih odjela izračunat je kao odnos između stvarne srednje udaljenosti privlačenja drva iz izvedbenih projekata i geometrijske srednje udaljenosti privlačenja drva izračunate pomoću Geografskoga informacijskoga sustava (GIS).

*Ključne riječi:* transport drva, faktor privlačenja drva, DMR, GIS



---

Authors' addresses – *Adrese autorâ:*

Vladimir Petković, MSc.\*

e-mail: vladimir.petkovic@sfbl.org

Dane Marčeta, PhD.

e-mail: dane.marceta@sfbl.org

University of Banja Luka, Faculty of Forestry

Bulevar Vojvode Stepe Stepanovića 75

78000 Banja Luka

BOSNIA AND HERZEGOVINA

Ljubojević Darko, MSc.

e-mail: darkoljubojevic@gmail.com

Public Forestry Company »Šume Republike Srpske«

a.d. Sokolac

Forest Management »Prijeđor«

Vožda Karađorđa 4/2

79101 Prijeđor

BOSNIA AND HERZEGOVINA

Jovan Kuburić, mag. ing. sliv.

e-mail: jovan.kuburic@gmail.com

Public Forestry Company »Šume Republike Srpske«

a.d. Sokolac

Forest Management »Oštrej-Drinić«

Centar 10

79290 Petrovac-Drinić

BOSNIA AND HERZEGOVINA

Received (*Primljeno*): July 3, 2017

Accepted (*Prihvaćeno*): July 18, 2017

\* Corresponding author – *Glavni autor*

# Usporedba lidarskih i terenskih podataka pri izmjeri visine stabala u urbanim područjima

Ante Seletković, Martina Kičić, Alen Berta, Renata Pernar, Mario Ančić, Jelena Kolić, Ivan Balenović

## Nacrtak – Abstract

U radu je na temelju podataka dobivenih laserskim skeniranjem iz zraka prikazana obrada 3D oblaka točaka te različiti načini i mogućnosti uporabe podataka pri praćenju i izmjeri vegetacije urbanih područja. U istraživanju su korišteni lidarski (engl. LiDAR = Light Detection and Ranging) podaci dobiveni u Zagrebu, točnije na Lenucijevoj potkovi, na Trgu Nikole Šubića Zrinskoga. Na istraživanom području za svako je locirano stablo određena vrsta i mjerena njegova visina (m) ultrazvučnim visinomjerom Vertex III. Terenskom izmjerom obuhvaćeno je 146 stabala (od toga 140 hibridnih platana (*Platanus × hispanica*) i 6 stabala javora mliječa (*Acer platanoides* L.). Prosječna izmjerena visina uređajem Vertex III iznosila je 24,0 m s rasponom od 5,60 m za najniže stablo do 36,0 m za najviše izmjereno stablo. Srednji prsni promjer iznosio je 74 cm s rasponom od 8 cm do 160 cm. Laserskim skeniranjem iz zraka i obradom prikupljenih podataka dobiven je georeferencirani 3D oblak točaka razvrstan u četiri razreda kao proizvod obrade sirovih podataka u softveru LAStools te prikazan u softveru QTM za vizualizaciju oblaka točaka. Prilikom očitavanja visine iz oblaka točaka izdvojena su 134 stabla. Srednja izmjerena visina stabala temeljem oblaka točaka iznosi 23,07 m, najniže izmjereno stablo visine je 5,31 m, a najviše 33,34 m. Statističkom obradom i usporedbom podataka dobiveni su koeficijent korelacije  $r_s = 0,91$  i koeficijent determinacije  $R^2 = 0,83$ , dok je  $p = 0,000$  ( $p < 0,05$ ), što upućuje na statističku značajnost dobivene korelacije, a što potvrđuje validnost te upotrebljivost lidarskih podataka pri izmjeri i praćenju urbane vegetacije.

Ključne riječi: LiDAR, 3D oblak točaka, visina stabala, urbane šume, parkovni nasadi

## 1. Uvod – Introduction

Urbana vegetacija, osobito drveće, nudi mnoge pogodnosti koje mogu poboljšati kvalitetu okoliša i zdravlje građana u gradovima i u njihovoj okolici (Nowak i dr. 2008). Urbane šume omogućuju i pružaju mnoge prednosti, kao što su štednja energije, poboljšanje upravljanja vodama, smanjenje onečišćenja zraka i povezivanje urbanih stanovnika s prirodom (McPherson 2006).

Unaprijeđenje korištenja i pogodnosti koje pružaju zahtijeva provođenje inventure urbane vegetacije radi uspješnijega planiranja i upravljanja. Osnovne informacije koje sadrži takva inventura uključuju: broj pojedinačnih stabala, vrste drveća, habitusna obilježja, dimenzije, prostorni raspored i zdravstveno stanje.

Tradicionalno se takvi podaci prikupljaju terenskom izmjerom koja je skupa, fizički zahtjevnija i koja oduzima mnogo vremena. Dodatno, terenske se izmjere mogu provoditi samo na područjima koja su dostupna za izmjeru, a nedostupni su podaci s privatnih posjeda i ostalih nepristupačnih područja. Daljinska su istraživanja stoga postala prihvatljiva alternativa terenskim izmjerama u inventuri vegetacije zbog ukupno manjega troška izmjere, veće obuhvaćene površine i redovitoga ciklusa prikupljanja podataka (Zhang i Qiu 2012). Iako se u uporabi mogu naći različite vrste senzora kojima se prikupljaju informacije o šumskoj vegetaciji, lidarska tehnologija (engl. LiDAR = Light Detection and Ranging) u posljednje se vrijeme sve više primjenjuje za pridobivanje podataka o površinama obraslim drvećem jer može pružiti veoma točne informacije o obliku proma-

tranoga objekta uz pomoć georeferenciranih 3D točaka (Kwak i dr. 2007).

Prema Wehru i Lohru (1999) LiDAR je akronim za engl. *LIght Detection and Ranging*, iako je svojedobno postojala tendencija uvođenja pojma LADAR, odnosno akronima za engl. *LAser Detection and Ranging* kako bi se naglasila primjena lasera. Riječ je o potpuno automatiziranom, aktivnom, optičko-mehaničkom postupku prikupljanja prostornih podataka dostupnih s aktualnih snimališta (Gajski 2007). Jedno je od glavnih svojstava toga sustava njegova mogućnost prikupljanja velikoga broja visoko točnih trodimenzionalnih prostornih podataka velikih područja u razmjerno kratkom razdoblju. Lidarski sustav temelji se na laserskom skeniranju koje mjeri udaljenost između skenera i objekta izmjere, a ona se računa pomoću brzine svjetlosti i vremena potrebnoga da emitirano lasersko zračenje dođe do objekta (Baltasvias 1999). Jedna je od prednosti toga sustava njegova iznimna preciznost koja se ogleda u činjenici da se prilikom laserskoga skeniranja iz zraka ponekad mogu dobiti podaci koji su precizni u centimetar, dok je lasersko skeniranje sa zemlje još preciznije i ide u milimetarske točnosti.

Lidar je aktivni sustav koji je neovisan o danjem svjetlu, ali zato traži čistu atmosferu prilikom skeniranja (bez smoga ili magle koji bi onemogućili ili produljili vrijeme skeniranja). Osim toga laser se ne može koristiti za kišna vremena jer većina emitiranoga zračenja ne može prodrijeti kroz vodu. U ovisnosti o platformi koja nosi skener, tehnologija laserskoga skeniranja može se podijeliti na:

- ⇒ lasersko skeniranje sa zemlje (engl. *Terrestrial Laser Scanning* – TLS)
- ⇒ lasersko skeniranje iz zraka (engl. *Airborne Laser Scanning* – ALS)
- ⇒ lasersko skeniranje iz svemira (engl. *Spaceborne Laser Scanning* – SLS) (Petrie i Toth 2009, Balenović i dr. 2013, Berta 2017).

Od navedenih najčešće se koristi lasersko snimanje iz zraka (ALS), pri kojem su avion ili helikopter platforme koje nose skener. Lasersko skeniranje iz zraka omogućuje najbolji pristup velikim površinama terena i nudi mogućnost velike pokretljivosti skenera, dok su laserska snimanja sa zemlje (TLS) pogodnija za ograničena područja, izuzetno strme terene te pojedinačna detaljna snimanja. Podroban prikaz i opis glavnih svojstava lidarskoga sustava dali su Balenović i dr. (2013).

Mogućnosti lidarske tehnologije prepoznate su u svijetu te se ona počinje intenzivnije istraživati početkom 21. stoljeća. Otada se može pratiti sve veći broj objavljenih znanstvenih radova na temu njezine primjene u brojnim sferama koje i dalje rastu, što je dokaz njezine relevantnosti i svestranosti.

Mnogi svjetski znanstvenici u svojim istraživanjima ispituju mogućnosti lidarske tehnologije u kompleksnom urbanom prostoru. Kada se pritom analizira urbana vegetacija, onda se može pronaći nekoliko glavnih interesnih skupina: generiranje preciznih digitalnih modela terena (Chen i dr. 2012), određivanje volumena zelenila (Hecht i dr. 2008), procjene gustoće vegetacije (engl. *Leaf Area Index* – LAI) (Hopkinson i dr. 2013, Alonzo i dr. 2015, Lin i West 2016, Klinberg i dr. 2017), determinacija i kartiranje pojedinačnoga stabla (Kim i dr. 2009, Holopainen i dr. 2013). U posljednje se vrijeme sve više lidarska tehnologija spaja s hiperspektralnim snimkama kako bi se omogućila i ispitala preciznija determinacija vrste drveća ovom metodom daljinskih istraživanja (Zhang i Qiu 2012, Alonzo i dr. 2014, Alonzo i dr. 2016, Liu i dr. 2017).

Pregled hrvatske literature na temu lidarske tehnologije te njezine primjene u šumarstvu donosi relativno malen broj radova. Gajski (2007) daje definiciju i obrađuje osnove laserskoga skeniranja iz zraka. Benko i Balenović (2011) na primjeru istraživanja provedenih u svijetu preporučuju ovu tehnologiju daljinskih istraživanja za inventure šuma u Hrvatskoj, potom Balenović i dr. (2013) podrobno prikazuju principe rada i mogućnosti lidarske tehnologije u šumarstvu jugoistočne Europe. Žmegač (2015) i Božić (2016) u svojim radovima analiziraju dinamiku prašuma uz pomoć lidarskih snimaka, a Berta (2017) primjenjuje tu tehnologiju za procjenu šumske biomase u degradiranim šumama brežuljkastoga i nizinskoga vegetacijskoga pojasa.

Budući da je u Hrvatskoj vrlo malo dostupnih rezultata istraživanja primjene lidarske tehnologije u urbanom šumarstvu, u radu će se podrobno analizirati mogućnosti obrade i primjene podataka dobivenih laserskim skeniranjem iz zraka u izmjeri i interpretaciji vegetacije urbanih prostora.

Cilj je rada na temelju podataka dobivenih laserskim skeniranjem iz zraka u Zagrebu prikazati obradu 3D oblaka točaka, klasifikaciju, vizualizaciju i različite načine i mogućnosti uporabe takvih podataka pri praćenju i izmjeri vegetacije urbanih područja. Nadalje, na odabranom primjeru parkovnog nasada istražiti će se uspješnost primjene lidarskoga snimanja za razlučivanje pojedinačnih stabala te određivanje njihove totalne visine usporedbom s visinom određenih terestički ultrazvučnim daljinomjerom.

## 2. Materijal i metode – *Material and Methods*

### 2.1 Područje istraživanja – *Study Area*

Kako se ne radi o ciljanom istraživanju, područje je istraživanja određeno dostupnim lidarskim podacima



**Slika 1.** Lenčićeva potkova s označenim Trgom Nikole Šubića Zrinskoga

**Fig. 1** Lenčić's Horseshoe with the marked Square of Nikola Šubić Zrinski

koje je ustupio Grad Zagreb. Za područje istraživanja izabrana je Lenčićeva potkova, konkretno Trg Nikole Šubića Zrinskoga (Zrinjevac) (slika 1).

Lenčićeva potkova ili Zelena potkova skupni je naziv za slijed od sedam perivojnih trgova i jednoga perivoja koji uokviruju središte Donjega grada – jezgru središta Zagreba. To su Trg Nikole Šubića Zrinskoga (Zrinjevac), Trg Josipa Jurja Strossmayera, Trg kralja Tomislava, Trg Ante Starčevića, Botanički vrt, Trg Marka Marulića, Trg Mažuranića i Trg maršala Tita (Bojanić Obad Šćitaroci i Obad Šćitaroci 2004).

Trg Nikole Šubića Zrinskoga ili, kako se popularno zove, Zrinjevac prvi je u nizu perivojnih trgova zagrebačke Lenčićeve potkove. Zrinjevac je istočno ishodište potkove. Projekt za Zrinski trg izradio je 1870. gradski inženjer Rupert Melkus. Ploha perivoja površine 2,74 ha bila je podijeljena na četiri pravilna pravokutna polja, neznatno zaobljena na uglovima, a na sjecištu je dviju staza kružno proširenje. Vanjske i unutarnje šetnice obrubljene su drvodredima platana (*Platanus × hispanica*). Platane, dopremljene iz Udina (Italija), posađene su 1872. (Bojanić Obad Šćitaroci i Obad Šćitaroci 2004). Do kraja 19. stoljeća Zrinjevac je prošao tri značajnija preoblikovanja i otada do danas nije se znatnije mijenjao.

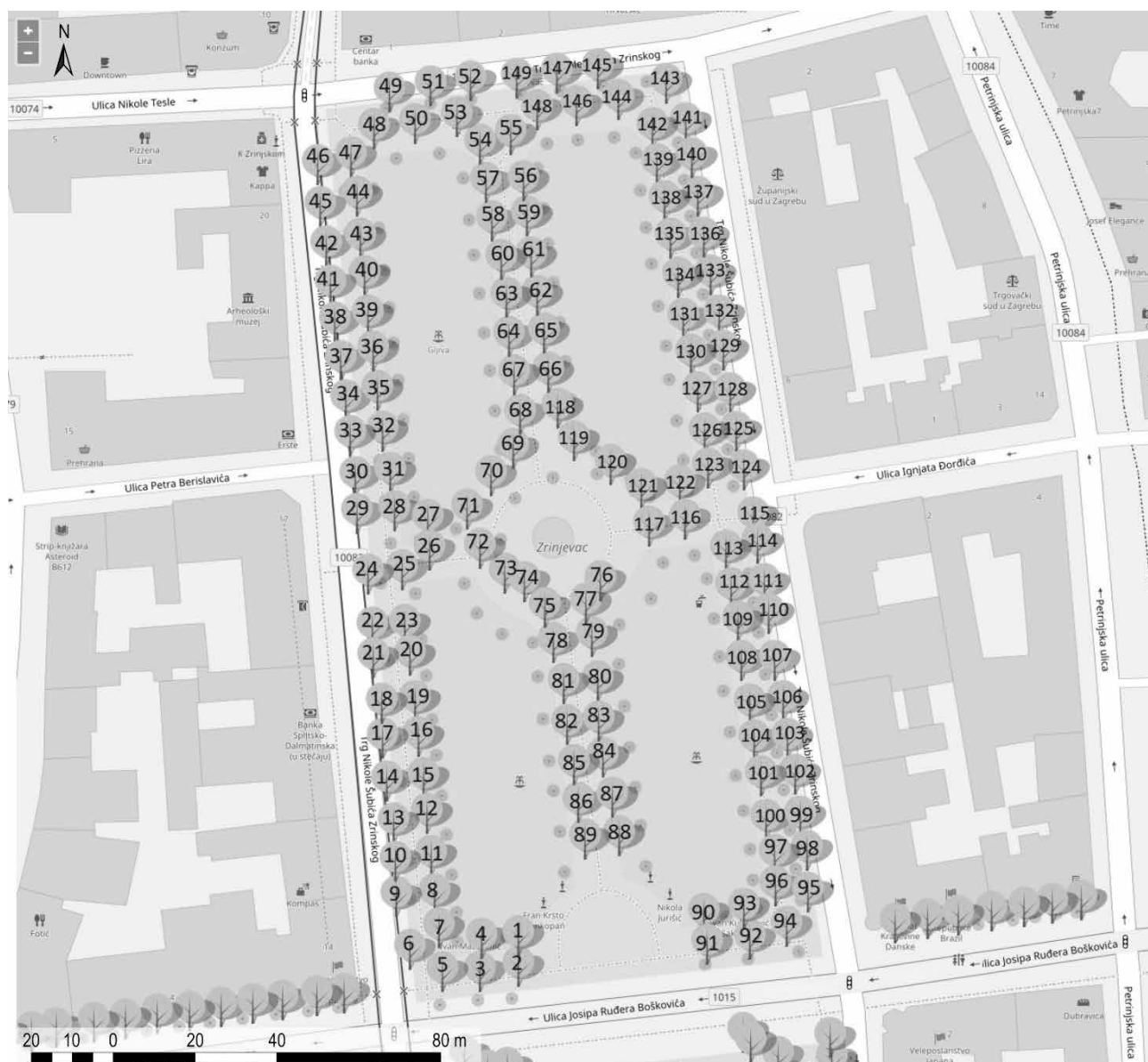
Zrinjevac je prava zelena oaza u samom središtu grada Zagreba, omiljeno odredište građanima, ali i sve

većemu broju turista. Zbog svoje lokacije, izuzetno urbaniziranoga okoliša koji ga okružuje i stogodišnjih drvodreda platana koje mu daju prepoznatljiv izgled, ovaj je perivojni trg idealna lokacija za prikaz mogućnosti koje nudi laserska tehnologija snimanja iz zraka s naglaskom na prikaz i analizu pojedinačnih stabala.

## 2.2 Terenski podaci – Field Data

Prikupljanje terenskih podataka napravljeno je 18. srpnja 2017. godine. Na istraživanom području svakom pojedinačnom stablu pridružena je oznaka, determinirana je vrsta drveća, izmjerena totalna visina (m) ultrazvučnim visinomjerom Vertex III s očitanjem na jednu decimalu te opseg (cm) na prsnoj visini (1,30 m od tla) iz kojega je izračunat prsni promjer.

Tijekom prikupljanja terenskih podataka, radi lakšega snalaženja prilikom obrade podataka, korišten je Katastar zelenila (URL 1) izrađen za Zagrebački holding, podružnicu Zrinjevac. Katastar zelenila je digitalna zbirka drveća, grmlja i ostaloga bilja u kojem su sistematizirani i inventarizirani podaci o sadržajima javnih gradskih površina. O svakom stablu u Katastru postoje osnovne informacije, kao što su: latinski i hrvatski naziv biljke, prostorni raspored, zaštitni elementi oko stabla (ako postoje), promjer stabla, promjer krošnje i visina stabla. Ti su podaci informativnoga karaktera te se ne mogu uzeti kao pouzdane i refer-



**Slika 2.** Trg Nikole Šubića Zrinskoga s oznakama stabala mjenjenih terestički visinomjerom

**Fig. 2** The Square of Nikola Šubić Zrinski with tree markings measured terrestrially by hypsometer

entne vrijednosti, stoga se prilikom terenske izmjere koristio samo prikaz prostornoga rasporeda stabala. Prije samoga izlaska na teren svako je stablo označeno (obrojčano) (slika 2), tim je redosljedom obavljena izmjera i pod tom je oznakom ono bilo uključeno u sve daljnje analize izmjerenih i snimljenih podataka.

### 2.3 Lidarski podaci – LiDAR Data

Lidarski podaci snimljeni su tijekom travnja 2012. godine. Snimanje je obavila tvrtka GISDATA za naručitelja Grad Zagreb. Podaci su snimani senzorom Leica

ALS-50 II (tablica 1) uz minimalnu gustoću skeniranja 0,5 točaka/m<sup>2</sup> te s poprečnim preklapom od 20 %.

### 2.4 Obrada lidarskih podataka – LiDAR Data Processing

Obrada »sirovih« (neobrađenih i neklasificiranih) lidarskih podataka napravljena je pomoću softvera LAStools (Rapidlasso GmbH, Gilching, Germany) koji sadrži niz modula (alata) za razredbu, ekstrakciju i pretvorbu lidarskih podataka. Prilikom obrade podataka ovim softverom primijenjena je metodologija

**Tablica 1.** Tehnička svojstva lidarskoga senzora (LEICA Geosystems) i podataka**Table 1** Technical characteristics of LiDAR sensor (LEICA Geosystems) and data

| Vrsta senzora – <i>Sensor type</i>                                    | »Discrete return« (snima pojedine povrate) – »Discrete return« (records individual returns)   |
|---|---|
| Visina snimanja – <i>Recording height</i>                             | Max. 6000 m   |
| Širina snimanja (FOV) – <i>Field of view (FOV)</i>                    | 75°   |
| Broj povrata – <i>Number of returns</i>                               | Prvi, drugi, treći i zadnji – <i>First, second, third and last</i>  |
| Brzina snimanja – <i>Recording speed</i>                              | 90 Hz pri 10° FOV / 30 Hz pri 75° FOV   |
| Brzina emitiranja laserskih zraka – <i>Laser emission rate</i>        | 150 kHz (150 000 zraka) pri visini snimanja 500 m / 22 kHz pri visini snimanja 6000 m<br>150 kHz (150.000 bems) at recording height 500 m / 22 kHz at recording height 6000 m |
| Vrijeme snimanja – <i>Recording time</i>                              | 26. 3. 2012.  |
| Inercijalni sustav – <i>Inertial system</i>                           | Applanix 310  |
| Softver za planiranje leta – <i>Flight planning software</i>          | Fplan   |
| Sustav za navigaciju GPS-om – <i>GPS navigation system</i>            | MASON   |
| Avion za snimanje – <i>Airplane</i>                                   | Cessna 402B   |
| Visina leta – <i>Height of flight</i>                                 | 2000 m (nominalno) – 2.000 m (nominal)  |
| Lidarski senzor – <i>LiDAR sensor</i>                                 | Leica ALS-50 II   |
| Softver za postprocesing (LiDAR) – <i>Software for postprocessing</i> | ALS Post Processor  |

prikazana u Berta (2017). Ovo je nužan korak u analizi lidarskih podataka, jer je dobiveni proizvod u obliku obrađenoga i klasificiranoga oblaka točaka podloga za daljnje detaljne analize željenoga područja.

Izvorni se lidarski podaci čuvaju kao datoteke, gdje svaka predstavlja jedan let. Iako je podatke moguće obrađivati na razini leta, pristupilo se spajanju dobivenih podataka i spremanjem dobivene datoteke u *.las* format.

LAS format je javni format podataka za razmjenu 3D oblaka točaka među korisnicima. Iako je razvijen primarno za potrebe razmjene lidarskih podataka, danas podržava razmjenu bilo kojih 3D x, y, z nizova. Uspješno zadržava sve informacije karakteristične za lidar (intenzitet, broj povrata signala ...) i pritom ostaje jednostavan (Ivšić i dr. 2016).

Budući da su podaci dostavljeni u projekciji UTM 33, WGS84 radi preklapanja sa željenim područjem, oni se najprije transformiraju u projekciju HTRS96/TM te se izdvajaju željena područja alatom *lasclip*. Zatim se računa gustoća točaka na izdvojenom željenom području i uređuje se oblak točaka pomoću alata *lasnoise*, koji pronalazi usamljene točke te ih klasificira ili uklanja.

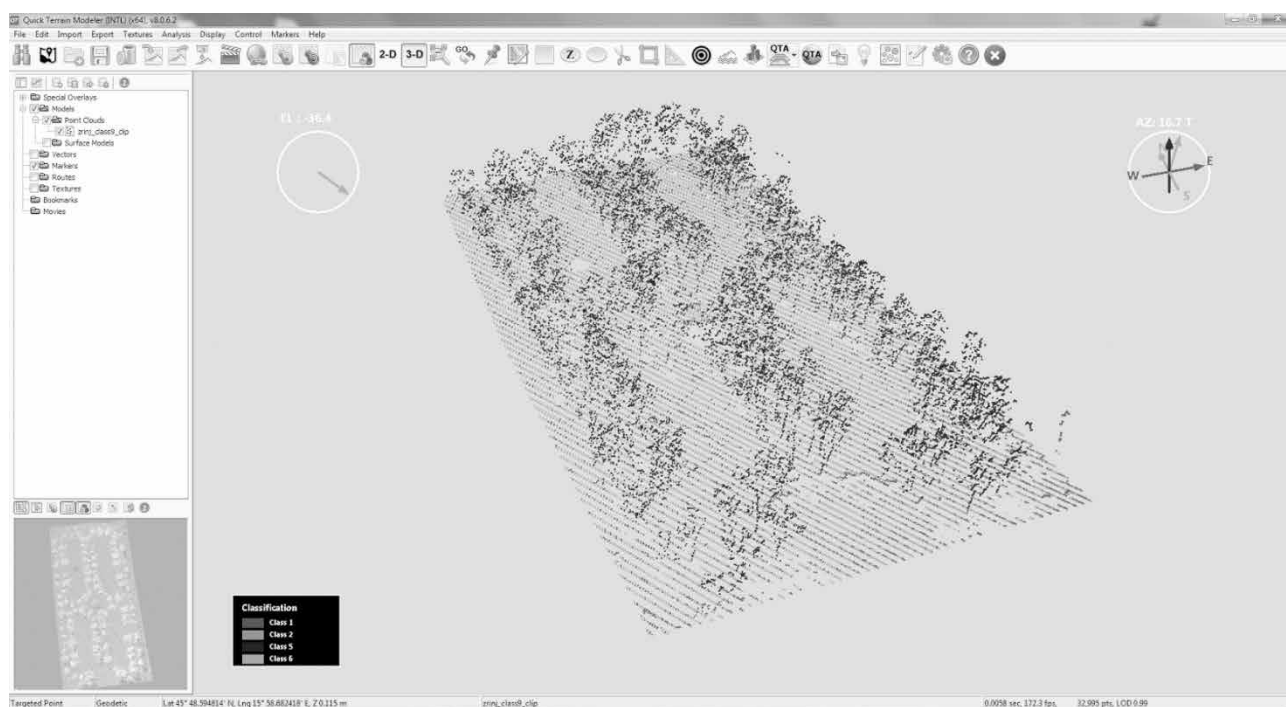
Nakon utvrđivanja kvalitete korištenoga oblaka točaka pristupa se automatskoj klasifikaciji na točke tla (engl. *ground points*) i točke iznad tla (engl. *non-ground points*) s alatom *lasground*. Taj se postupak u literaturi naziva filtriranje (engl. *lidar data filtering*)

(Zhang i Qiu 2012, Ivšić i dr. 2016). Također se alatom *lasheight* svakoj točki računa nadmorska visina, što je potrebno za daljnje klasificiranje ili za izradu digitalnoga modela terena.

Nakon automatske klasifikacije oblaka točaka, a radi poboljšanja dobivenih rezultata preporučuje se provesti i manualnu klasifikaciju. Naime, iako daje dobre rezultate, softverski algoritam nije savršen, osobito pri klasifikaciji složenijih objekata i površina poput stabala i šumskih sastojina. Po utvrđivanju pogrešno svrstanih točaka moguće ih je reklasificirati bilo manualno ili automatski. Postupak reklasifikacije točaka terena i ostalih točaka iznad terena ponavlja se dok god se ne dobiju zadovoljavajući rezultati. Taj je korak ključan jer izravno uvjetuje kvalitetu generiranja digitalnih modela terena (Ivšić i dr. 2016).

Nakon filtriranja i reklasifikacije oblaka točaka, da bi se izdvojile samo točke vegetacije alatom *lasclassify*, nastavlja se daljnja klasifikacija na vegetaciju, zgrade, putove i ostale objekte u prostoru. Kao neki oblik vegetacije (niska, srednja, visoka) klasificiraju se sve točke koje se nalaze 0,5 m iznad tla. Kako navodi Berta (2017, preuzeto od Garcia i dr. 2010), prag od 0,5 m iznad tla za klasifikaciju točaka kao točaka vegetacije u skladu je s postojećim istraživanjima. Prilikom klasificiranja vegetacije korisno je iskoristiti informacije o broju povrata signala s obzirom na to da se pretpostavlja da će vegetacija imati više povrata jer će se signal najprije odbiti od krošnje stabla, zatim od grane, pa tek onda od tla (Ivšić i dr. 2016).





**Slika 3.** Prikaz izdvojenoga oblaka točaka u softveru QTM: neklasificirano (class 1), tlo (class 2), visoka vegetacija (class 5) i zgrade (class 6)

**Fig. 3** Display of the separated cloud of points in the QTM software: unclassified (Class 1), soil (Class 2), high vegetation (Class 5) and buildings (Class 6)

Daljnja obrada i vizualizacija podataka provedena je na izdvojenom i klasificiranom oblaku točaka (slika 3) u softveru Quick Terrain Modeler (QTM) (Applied Imagery, Chevy Chase, MD, USA) za vizualizaciju, uređivanje i analizu lidarskoga oblaka točaka.

Kako bi se moglo pristupiti analizi pojedinoga stabla, ona se prvo moraju detektirati iz lidarskoga oblaka točaka, a to se radi u dva bitna koraka. Prvi je izrada digitalnoga modela terena, a drugi je detekcija pojedinoga stabla, što uključuje identifikaciju njegove krošnje (Zhang i Qiu 2012). Digitalni model terena (DMT) klasificirane su točke tla, dok sve točke vegetacije zajedno čine digitalni model visine krošanja (DMVK). Visinu stabla predstavlja visinska razlika između DMT i DMVK.

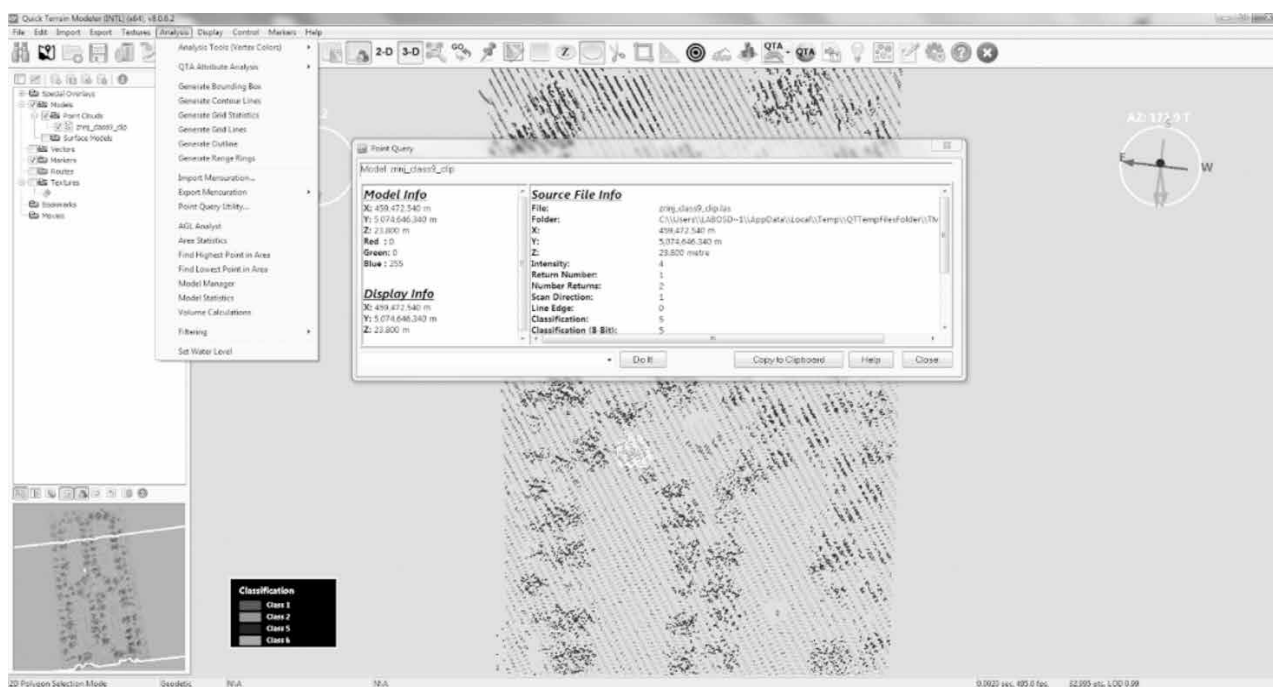
Danas postoje brojni računalni algoritmi koji automatski iz oblaka točaka detektiraju krošnje i označuju visinu stabla. U ovom je radu prikazan manualni način dobivanja visine stabala iz oblaka točaka kako bi se pojasnila i približila tehnologija i metodologija rada s podacima dobivenim laserskim skeniranjem iz zraka.

Analiza vegetacije na području istraživanja provedena je u softveru QTM na temelju prethodno obrađenih i klasificiranih lidarskih podataka. S obzirom na to da je Trg Nikole Šubića Zrinskoga pravilna,

pravokutna oblika i da su stabla u drvoredu, moguća je pojedinačna analiza svakoga stabla. Iz oblaka točaka poligonom su izdvojena pojedinačna stabla odnosno njihove krošnje, i to unaprijed određenim redoslijedom, onim kojim je napravljena i terenska izmjera. Visina svakoga pojedinačnoga stabla određena je, odnosno bila je jednaka visini najviše točke u izdvojenom oblaku točaka (poligonu).

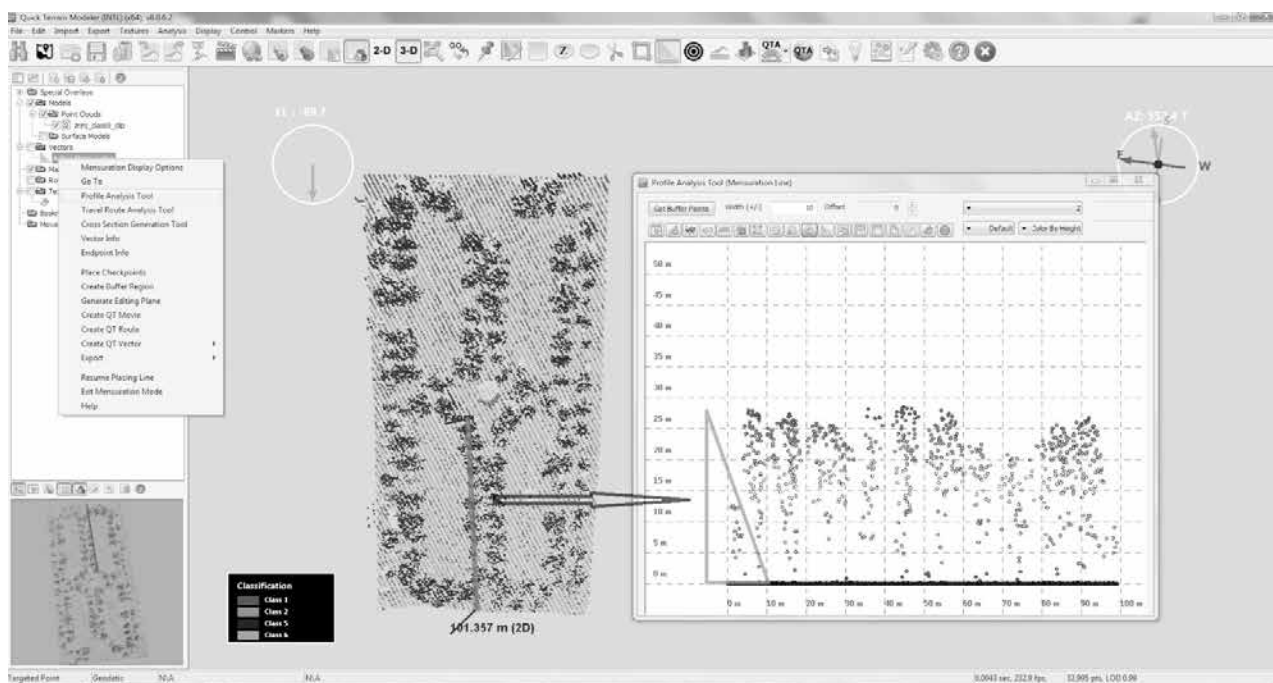
Poligonom je označena i selektirana odabrana krošnja, zatim se u glavnom izborniku softvera QTM odabrao »Analyst« te u padajućem izborniku »Find Highest Point in Area« (slika 4). Novootvoreni prozor daje osim podatka o najvišoj točki (z koordinata) na selektiranom području i mnoge druge informacije poput intenziteta točaka ili broja povrata.

S obzirom na prirodu vegetacije i činjenicu da stabla na mjerenoj plohi nisu iste dobi, odnosno neka su zamijenjena tijekom vremena zbog opasnosti za sigurnost i život građana, do visine mlađih i nižih stabala nije se moglo doći opisanim postupkom jer se prvi (i najviši) povrat zrake odbio od grane višega (starijega) stabla. Alternativan način utvrđivanja visine nižega stabla bila je izrada vertikalnoga profila iz oblaka točaka, iz kojega je vidljiv presjek svih točaka do tla te iz kojega se može jasno razabrati i izmjeriti niže stablo (slika 5).



**Slika 4.** Poligonom izdvojena krošnja iz oblaka točaka

**Fig. 4** Crown separated by polygon from the cloud of points



**Slika 5.** Vertikalni profil izrađen iz oblaka točaka

**Fig. 5** Vertical profile made from the cloud of points

Softver QTM omogućuje izradu profila iz prikupljenih podataka za detaljne analize ili vizualizacije terena. Pomoću alata »*Measurement line*« označava se

željeno područje na DMT-u ili u oblaku točaka za koje treba izraditi profil, zatim se u padajućem izborniku odabire opcija »*Profile Analysis Tool*« na temelju koje se

prikazuju sve točke s pripadajućom nadmorskom visinom u zadanim okvirima (duljina i širina obuhvata). Prilikom interpretacije točke se mogu i vizualno razdvojiti tako da se obojaju različitim bojama ovisno o njihovoj visini.

Svaka je visina stabala na zadanom području očitana na dvije decimale prikazanim načinima te je upisana redom očitavanja u \*.dbf datoteku uz podatke s terenske izmjere. Za svako je stablo uz podatke o vrsti, opsegu debla, prsnom promjeru te visini izmjerene uređajem Vertex III upisana i ona dobivena očitavanjem iz lidarskoga oblaka točaka.

### 2.5 Statistička analiza podataka – *Statistical Data Analysis*

Statistička obrada podataka odrađena je pomoću softvera Statistica 10.0. Uključivala je izradu osnovne deskriptivne statistike za svaku izmjeru (uređajem Vertex III i očitavanjem iz oblaka točaka), izradu grafikona za prikaz odnosa dobivenih visina, te za provođenje korelacijske analize kojom se ispituje validnost i povezanost podataka dobivenih laserskim skeniranjem iz zraka i terenski izmjerenih podataka.

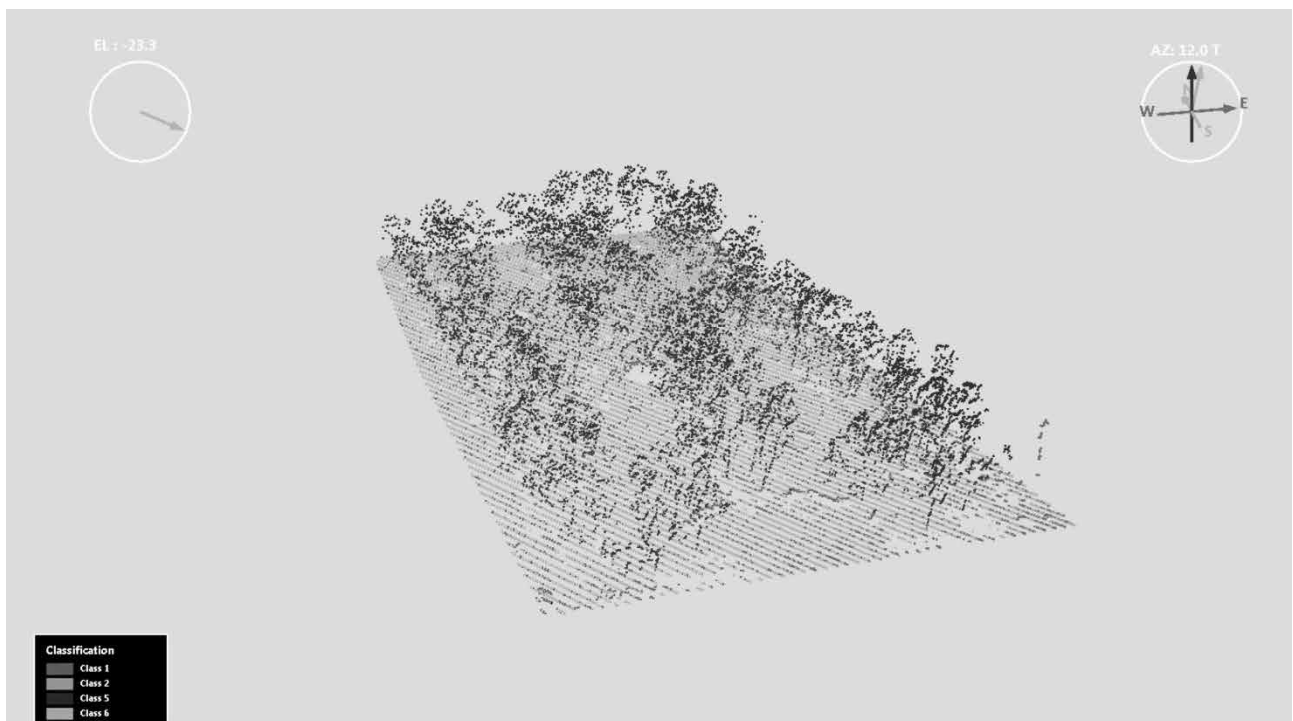
Spajanje svih prikupljenih informacija o pojedinačnom stablu u jedinstvenu bazu podataka omogućio je programski paket ArcGIS 9.3.

### 3. Rezultati i rasprava – *Results and Discussion*

Referentne vrijednosti za usporedbu i validaciju laserski prikupljenih podataka dobivene su izlaskom na teren i izmjerom svih stabala na Trgu Nikole Šubića Zrinskoga. Iako je u Katastru zelenila prikazano 149 stabala, odlaskom na teren utvrdilo se kako su tri stabla uklonjena, stoga je terenskom izmjerom obuhvaćeno 146 stabala (od toga 140 hibridnih platana *Platanus × hispanica* i šest stabala javora mliječa *Acer platanoides* L.). Prosječna izmjerena visina uređajem Vertex III iznosila je 24,0 m s rasponom od 5,60 m za najniže stablo do 36,0 m za najviše izmjereno stablo. Srednji prsni promjer iznosio je 74 cm s rasponom od 8 cm do 160 cm.

Laserskim skeniranjem iz zraka i obradom prikupljenih podataka dobiven je georeferencirani 3D oblak točaka klasificiran u četiri razreda, kao proizvod obrade sirovih podataka u softveru LAStools te prikazan u softveru QTM za vizualizaciju oblaka točaka (slika 6). Prikupljen broj točaka za analizirano područje iznosi 32 995, a gustoća je prikupljenih točaka 1,03 točke/m<sup>2</sup>. Četiri su izdvojena razreda: neklasificirano (class 1), tlo (class 2), visoka vegetacija (class 5) i zgrade (class 6).

3D oblak točaka omogućuje podroban uvid u snimljeni prostor i sve njegove sastavnice. S obzirom



**Slika 6.** Trodimenzionalni prikaz klasificiranih točaka Trga Nikole Šubića Zrinskoga

**Fig. 6** Three-dimensional representation of classified points of the Square of Nikola Šubić Zrinski

na to da on zadržava stvarne prostorne i visinske odnose objekata u prostoru, već se njegovom vizualnom interpretacijom mogu donijeti osnovni zaključci o promatranom terenu. U slučaju Trga Nikole Šubića Zrinskoga jasno je vidljiv prostorni raspored stabala i ostalih objekata u prostoru (glazbeni paviljon), a u odnosu na fotointerpretaciju dvodimenzionalnih tipova podataka (aerofotogrametrijskih i satelitskih snimaka) sa sigurnošću se mogu vidjeti i utvrditi visinski odnosi među stablima, a po potrebi i izdvojiti krošnje svakoga od njih za detaljne analize.

Model je moguće spojiti i s različitim podlogama, često su to karte analiziranoga područja koje omogućuju precizniju interpretaciju ili objašnjavaju određene pojave u samom modelu. Pri izradi ovoga rada koristio se već spomenuti Katastar zelenila Grada Zagreba. Preuzeti prikaz prostornoga rasporeda stabala koji je služio kao predložak za terensku izmjeru georeferenciran je te postavljen kao podloga oblaku točaka. Dobiveni je rezultat izuzetno dobro preklapanje krošnji iz oblaka točaka i njihova prikaza u Katastru (slika 7), što upućuje na primjenjivost lidarskih podataka u detaljnim prostornim raščlambama.

Prilikom očitavanja visine iz oblaka točaka izdvojena su 134 stabla, 12 stabala manje nego terenskom izmjerom (tri stabla za koja se terenskom izmjerom

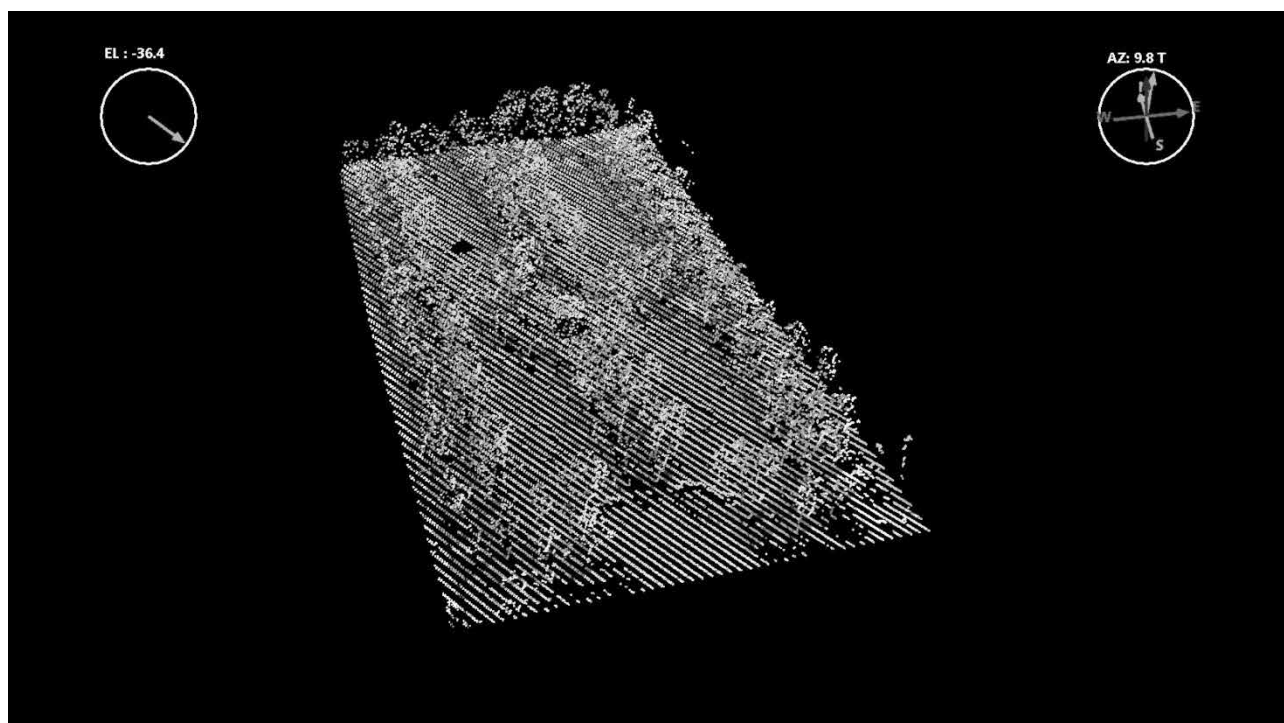
utvrdilo da nedostaju pronađena su u oblaku točaka) i 15 stabala manje od predviđenoga Katastrom zelenila. Razlozi se za to mogu tražiti u niskoj gustoći oblaka točaka ( $1,03$  točka/ $m^2$ ), vremenu leta (ožujak – netom prije početka listanja vegetacije), mogućim pogreškama prilikom leta (različiti prekopi letnih linija) ili u obradi sirovih podataka te promjenama u samom prostoru.

Srednja izmjerena visina stabala iz oblaka točaka iznosi  $23,07$  m, najniže izmjereno stablo visine je  $5,31$  m, a najviše  $33,34$  m. U takvu prikazu podataka može se primijetiti kako su oni, za razliku od terenske izmjere, izraženi na dva decimalna mjesta, dok softver ima mogućnost prikaza i na tri.

Ovdje valja napomenuti da su lidarski podaci iz 2012. godine, a podaci terenske izmjere iz 2017. godine, stoga je očekivano da će se dobivene vrijednosti visine stabala razlikovati.

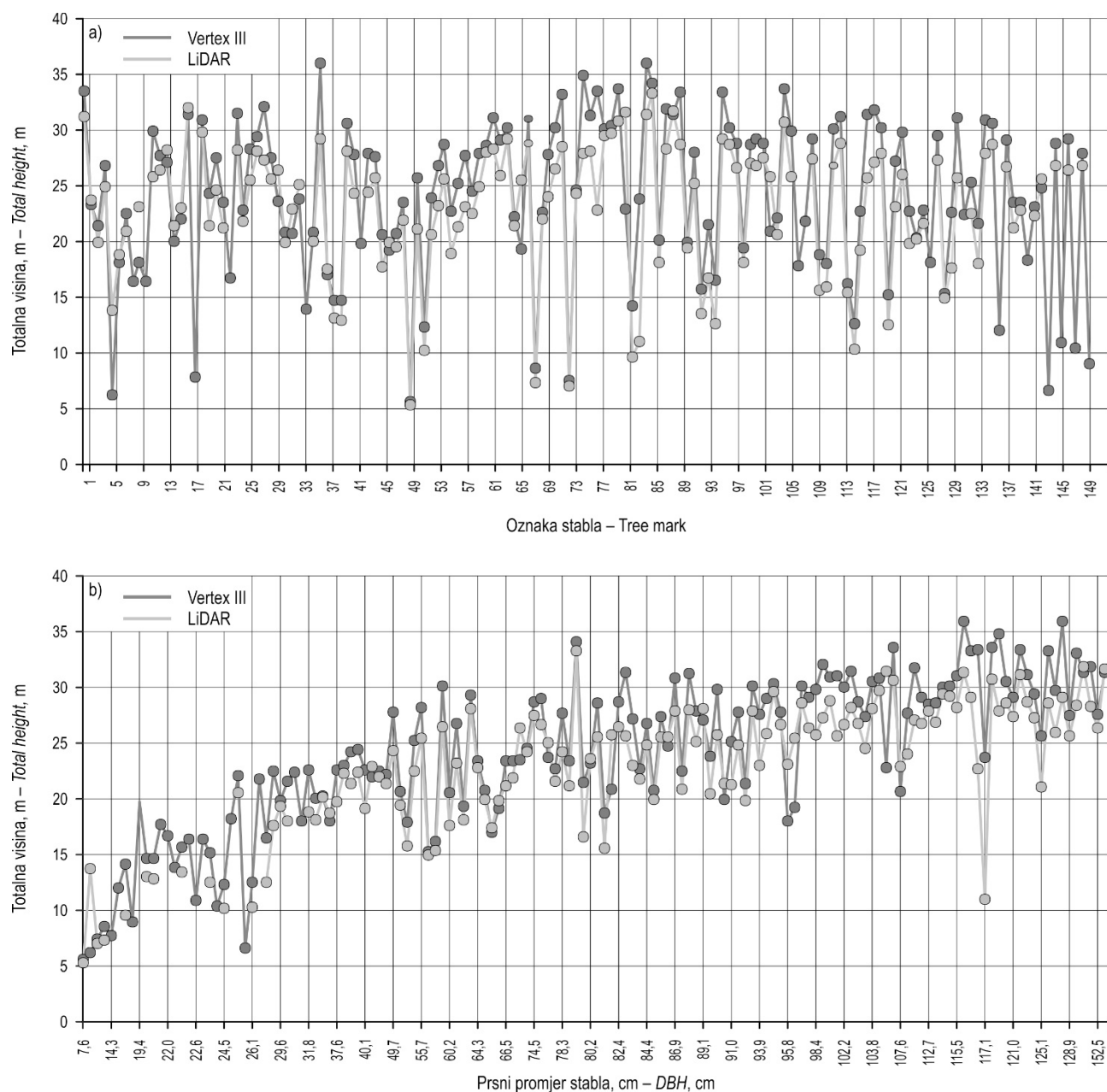
Pri tome treba imati na umu da većinu mjerenih stabala čine stogodišnje platane, čiji visinski godišnji prirast stagnira. Dakako, nisu sva stabla iste dobi, te na plohi postoje i mlađa stabla s većim i izraženijim godišnjim prirastom, koji će se vidjeti u usporedbi dobivenih podataka.

Usporedba visine dobivene terenskom izmjerom (Vertex III) i iz lidarskih podataka (3D oblak točaka)



**Slika 7.** Prikaz oblaka točaka s Katastrom zelenila kao podlogom

**Fig. 7** Display of cloud of points with Greenery Cadastre as background



**Slika 8.** Usporedba visine za svako stablo izmjerena uređajem Vertex III i iščitana iz lidarskoga oblaka točaka: a) po oznaci stabla; b) po prsnom promjeru

**Fig. 8** Height measured with Vertex III device vs. height read from LiDAR cloud of points for each tree: a) by tree marking; b) by DBH

na razini svakoga stabla prikazana je na slici 8a, a na slici 8b prikazani su usporedni podaci o visini prema prsnom promjeru.

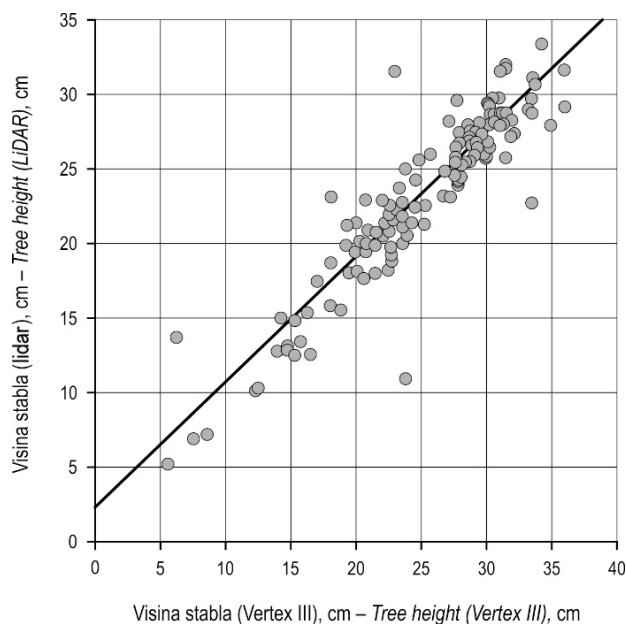
Kao što je potvrđeno i deskriptivnom statistikom, visina očitana iz oblaka točaka dobivenih laserskim skeniranjem iz zraka nešto je manja od one s terenske izmjere. Može se primijetiti kako linija lidarski dobivenih visina dosta vjerno prati onu s referentnim visina-

ma izmjerenim terenskom izmjerom, što je dobar pokazatelj vjerodostojnosti dobivenih podataka iz oblaka točaka. Razlika u visini između dviju izmjera predstavlja djelomično i višegodišnji visinski prirast koji zbog različite dobi, položaja i vitalnosti stabala na plohi nije ujednačen među svim jedinkama. Također, jedan od uzroka podcjenjivanju lidarski izmerene visine u odnosu na terenski izmjerenu jest relativno

mala gustoća oblaka točaka. Zbog toga je vrlo vjerojatno da svakomu stablu nije detektiran sam vrh stabla, tj. da laserska zraka nije »pogodila« vrh stabla, nego dio krošnje pored vrha (Balenović i dr. 2013). Prema Andersenu i dr. (2006) minimalna je gustoća točaka za točnu determinaciju vrhova pojedinačnih stabala 4–5 točaka/m<sup>2</sup>. Osim relativno male gustoće snimanja otežavajući je čimbenik pri određivanju vrhova stabala u ovom radu i vrijeme snimanja, koje je provedeno u ožujku, tj. na samom početku vegetacije, kada se lisna površina krošnje još nije razvila.

U slučajevima kada se precijeni visina, tj. kada je visina dobivena iz oblaka točaka značajnije veća od visine dobivene terenskom izmjerom istoga stabla, mogući su razlozi pogreške pri detekciji i ekstrakciji krošnje iz sklopa u softveru QTM ili pogreške prilikom same terenske izmjere. Spomenuto je kako postoje brojni računalni algoritmi koji se koriste kod ekstrakcije krošnja iz laserski prikupljenih podataka i time smanjuju mogućnost grešaka. Budući da se radilo manualno na modelu vegetacije s niskom gustoćom točaka, a na terenu u bučnom okruženju središta grada, što je stvaralo poteškoće prilikom terenske izmjere (uređaj Vertex III koristi se ultrazvučnim valovima i mjeri vrijeme potrebno signalu da prijeđe udaljenost od uređaja do transpondera i natrag), nastale razlike u pojedinačnim izmjerama nisu dovoljne kako bi se na temelju njih odbacila točnost i primjenjivost lidarskih podataka u analizi vegetacije urbanih područja.

Tomu u prilog ide izračunati koeficijent korelacije između terenske izmjere i podataka o visini dobivenih očitavanjem iz lidarskoga oblaka točaka, koji pokazuje i statistički značajan stupanj povezanosti tih dviju varijabli (slika 9). Grafički uspoređeni podaci u dijagramu raspršenosti o visini prikazuju linearnu povezanost izmjera, no promatrane distribucije izmjerene visine stabala za svaki instrument ne prate normalnu (Gaussovu) distribuciju. S obzirom na nepostojanje normalne distribucije podataka Artusi i dr. (2002) preporučuju primjenu Spearmanova koeficijenta korelacije, kod kojega nije uvjet da podaci budu normalno distribuirani. Prilikom računanja korelacije u izračun su uvrštena samo ona stabla za koja postoje obje izmjere ( $N = 131$ ). Dobiveni koeficijent korelacije iznosi  $r_s = 0,91$ , koeficijent determinacije  $R^2 = 0,83$ , dok je  $p = 0,000$  ( $p < 0,05$ ), što potvrđuje statističku značajnost dobivene korelacije. U većini objavljene literature, u kojoj se uspoređuju lidarske i terenske izmjere stabala,  $R^2$  iznosi između 0,76 i 0,98 (Falkowski i dr. 2006, Heurich i dr. 2008, O'Beirne 2012). S obzirom na taj podatak ova se korelacija može svrstati među srednje jake povezanosti, ali treba imati na umu da je između dviju prikazanih izmjera petogodišnje vegetacijsko razdoblje. Statistička



**Slika 9.** Usporedba povezanosti visine izmjerene uređajem Vertex III i iščitane iz lidarskoga oblaka točaka

**Fig. 9** Correlation of height measured with the Vertex III device and read from the LiDAR cloud of points

analiza korelacije potvrđuje tezu da razlike u pojedinačnim izmjerama nisu dovoljne kako bi se odbacila primjenjivost lidarskih podataka.

Sve prikazano može potvrditi kako su podaci o stablima dobiveni laserskim skeniranjem iz zraka upotrebljivi u analizama urbane vegetacije. Statistička je analiza pokazala značajnu korelaciju između dviju izmjera, dok je grafički prikaz pokazao kako se lidarski podaci mogu koristiti i za prostorne analize odnosa među stablima s obzirom na to da linija lidarskih očitavanja vjerno prati onu terenske izmjere, a razlika srednjih vrijednosti između izmjera samo je 1 m.

Prednost upotrebe laserski dobivenih podataka u analizi urbane vegetacije nije isključivo u mogućnosti točne izmjere stabala, koja je ovdje samo dana kao primjer upotrebe, ona se očituje u vizualizaciji prostora i odnosa vegetativnih elemenata u njemu, u mnogobrojnim raščlambama koje se mogu obaviti iz dobivenih podataka, od detaljnih strukturnih analiza urbanih šuma do izračuna vrijednosti općekorisnih funkcija koje pruža urbana vegetacija, te u velikom obuhvatu prostora koji se zahvaća prilikom leta, što smanjuje intenzitet terenskoga rada. Pri tome je jako važno uspješno izdvajanje pojedinačnih stabala razlučivanjem u oblaku točaka, tj. objedinjavanje točaka krošnje pripadajućemu stablu. Naravno, sve ovisi o kakvoći lidarskih podataka (gustoći, vremenu snimanja).



#### 4. Zaključci – Conclusions

U radu je detaljno prikazan postupak obrade lidarskih podataka dobivenih zračnim laserskim skeniranjem te istražene neke od mogućnosti njihove primjene u analizi vegetacije urbanih područja. Osim relativno niske gustoće snimanja ( $1,03 \text{ točaka/m}^2$ ) i vremena snimanja (rano proljeće, netom prije početka vegetacije), glavni ograničavajući čimbenik u radu bio je vremenski razmak između prikupljanja lidarskih i terenskih podataka. Unatoč tomu statističkom usporedbom lidarskih podataka o visini stabala s referentnom terenskom izmjerom istih stabala dobivena je statistički značajna korelacija  $r_s = 0,91$ , čime je potvrđena validnost i upotrebljivost lidarskih podataka pri izmjeri i praćenju urbanih stabala. Kako bi se utvrdile stvarne mogućnosti lidarske tehnologije u analizi vegetacije urbanih područja, potrebno je provesti daljnja kompleksnija istraživanja u kojima će se vrijeme prikupljanja lidarskih i terenskih podataka podudarati.

#### 5. Literatura – References

- Alonzo, M., B. Bookhagen, D. Roberts, 2014: Urban tree species mapping using hyperspectral and lidar data fusion. *Remote Sensing of Environment*, 148: 70–83.
- Alonzo, M., B. Bookhagen, J. McFadden, A. Sun, D. Roberts, 2015: Mapping urban forest leaf area index using penetration metrics and allometry. *Remote Sensing of Environment*, 162: 141–153.
- Alonzo, M., J. McFadden, D. Nowak, D. Roberts, 2016: Mapping urban forest structure and function using hyperspectral imagery and lidar data. *Urban Forestry & Urban Greening*, 17: 135–147.
- Andersen, H.-E., S. E. Reutebuch, R. J. Mcgaughey, 2006: A rigorous assessment of tree height measurements obtained using airborne lidar and conventional field methods. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 32(5): 355–366.
- Artusi, R., P. Verderio, E. Marubini, 2002: Bravais-Pearson and Spearman correlation coefficients: meaning, test of hypothesis and confidence interval. *The International Journal of Biological Markers*, 17(2): 148–151.
- Balenović, I., G. Alberti, H. Marjanović, 2013: Airborne Laser Scanning – the Status and Perspectives for the Application in the South-East European Forestry. *South-east European forestry*, 4(2): 59–79.
- Baltsavias, E. P., 1999: A comparison between photogrammetry and laser scanning. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54(2–3): 89–94.
- Benko, M., I. Balenović, 2011: Prošlost, sadašnjost i budućnost primjene metoda daljinskih istraživanja pri inventuri šuma u Hrvatskoj. *Šumarski list* 135(13): 272–281.
- Berta, A., 2017: Procjena šumske biomase pomoću lidar tehnologije u degradiranim šumama brežuljkastog i nizin-skog vegetacijskog pojasa u središnjoj Hrvatskoj. Disertacija, Šumarski fakultet, Zagreb.
- Bojanić Obad Šćitaroci, B., M. Obad Šćitaroci, 2004: Gradski perivoji Hrvatske u 19. stoljeću: javna perivojna arhitektura hrvatskih gradova u europskom kontekstu. Šćitaroci, Zagreb, 264 str.
- Božić, A., 2016: Upotreba laserskog skenera (LiDAR) u istraživanju dinamike bukove prašume Medvjedak. Diplomski rad, Šumarski fakultet, Zagreb.
- Chen, Z., B. Devereux, B. Gao, G. Amable, 2012: Upward-fusion urban DTM generating method using airborne Lidar data. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 72: 121–130.
- Falkowski, M. J., A. M. S. Smith, A. T. Hudak, P. E. Gessler, L. A. Vierling, N. L. Crookston, 2006: Automated estimation of individual conifer tree height and crown diameter via two-dimensional spatial wavelet analysis of lidar data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 32(2): 153–161.
- Gajski, D., 2007: Osnove laserskog skeniranja iz zraka. *Ekscentar*, 10: 16–22.
- Garcia, M., D. Riaño, E. Chuvieco, M. Danson, 2010: Estimating biomass carbon stocks for a Mediterranean forest in central Spain using LiDAR height and intensity data. *Remote Sensing of Environment*, 114(4): 816–830.
- Hecht, R., G. Meinel, M. F. Buchroithner, 2008: Estimation of Urban Green Volume Based on Single-Pulse LiDAR Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(11): 3832–3840.
- Heurich, M., 2008 Automatic recognition and measurement of single trees based on data from airborne laser scanning over the richly structured natural forests of the Bavarian Forest National Park. *Forest Ecology and Management*, 255(7): 2416–2433.
- Holopainen, M., V. Kankare, M. Vastaranta, X. Liang, Y. Lin, M. Vaaja, X. Yu, J. Hyyppä, H. Hyyppä, H. Kaartinen, A. Kukko, T. Tanhuanpää, P. Alho, 2013: Tree mapping using airborne, terrestrial and mobile laser scanning – A case study in a heterogeneous urban forest. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12(4): 546–553.
- Hopkinson, C., J. Lovell, L. Chasmer, D. Jupp, N. Kljun, E. van Gorsel, 2013: Integrating terrestrial and airborne lidar to calibrate a 3D canopy model of effective leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, 136: 301–314.
- Ivšić, L., B. Pribičević, A. Đapo, B. Kordić, L. Babić, M. Govorčin, 2016: Klasifikacija LiDAR podataka na području urbanog jezera Jarun i analiza kvalitete podataka. *Ekscentar*, 19: 98–103.
- Kim, S., R. J. McGaughey, H. Andersen, G. Schreuder, 2009: Tree species differentiation using intensity data derived from leaf-on and leaf-off airborne laser scanner data. *Remote Sensing of Environment*, 113(8): 1575–1586.

- Klinberg, J., J. Konarska, F. Lindberg, L. Johansson, S. Thorsson, 2017: Mapping leaf area of urban greenery using aerial LiDAR and ground-based measurements in Gothenburg, Sweden. *Urban Forestry & Urban Greening*, 26: 31–40.
- Kwak, D. A., W. K. Lee, J. H. Lee, G. S. Biging, P. Gong, 2007: Detection of individual trees and estimation of tree height using LiDAR data. *Journal of Forest Research*, 12(6): 425–434.
- Lin, Y., G. West, 2016: Retrieval of effective leaf area index (LAI) and leaf area density (LAD) profile at individual tree level using high density multi-return airborne LiDAR. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 50: 150–158.
- Liu, L., N. C. Coops, N. W. Aven, Y. Pang, 2017: Mapping urban tree species using integrated airborne hyperspectral and LiDAR remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 200: 170–182.
- McPherson, E. G., 2006: Urban Forestry in North America. *Renewable Resources Journal*, 24(3): 8–12.
- Nowak, D. J., D. E. Crane, J. C. Stevens, R. E. Hoehn, J. T. Walton, J. Bond, 2008: A Ground Based Method of Assessing Urban Forest Structure and Ecosystem Services. *Arboriculture & Urban Forestry*, 34(6): 347–358.
- O’Beirne, D., 2012: Measuring the Urban Forest: Comparing LiDAR Derived Tree Heights to Field Measurements. *Diplomski rad*, San Francisco State University.
- Petrie, G., C. K. Toth, 2009: Airborne and Spaceborne Laser Profilers and Scanners. *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing*, CRC Press, 31–34.
- Wehr, A., U. Lohr, 1999: Airborne laser scanning – an introduction and overview. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54(2): 68–82.
- Zhang, C., F. Qiu, 2012: Mapping Individual Tree Species in an Urban Forest Using Airborne Lidar Data and Hyperspectral Imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 78(10): 1079–1087.
- Žmegač, A., 2015: Upotreba laserskog skenera (LiDAR) u istraživanju dinamike bukovo-jelove prašume Čorkova uvala – Čudinka. *Diplomski rad*, Šumarski fakultet, Zagreb.
- URL 1: <https://gis.zrinjevac.hr/>, 25.09.2017.

---

## Abstract

---

### *Comparison of Lidar and Field Data Survey in Measuring Tree Height in Urban Areas*

*This paper shows a procedure of processing Light Detection and Ranging (LiDAR) data collected by airborne laser scanning (ALS) for the urban vegetation area of Zagreb (Nikola Šubić Zrinski Square). Furthermore, the comparison between tree heights obtained from LiDAR data and field survey was conducted. For each tree in the research area, tree species was determined and tree height (m) was measured by using ultrasonic Vertex III hypsometer. Field survey included 146 trees (out of which 140 were *Platanus x hispanica* and 6 were *Acer platanoides* L. trees). The average height was 24.0 m, ranging between 5.60 m and 36.0 m. Average diameter at breast height was 74 cm, ranging between 8 cm and 160 cm. From raw LiDAR data, a georeferenced point cloud was obtained and classified into 4 categories using LAStools software, while QTM software was used for visualization. In total, 134 trees were extracted from classified point clouds. The average tree height measured from the point cloud was 23.07 m, while the minimum and maximum tree heights were 5.31 m and 33.34 m, respectively. Statistical analysis and comparison between LiDAR and field data confirmed high (correlation coefficient  $r_s = 0.91$ ; coefficient of determination  $R^2 = 0.83$ ) and statistically significant correlation ( $p = 0.000$ ) indicating the great potential of LiDAR data for measuring and monitoring urban vegetation*

*Keywords: LiDAR, 3D point cloud, tree height, urban forests*

---

Adrese autorâ – *Authors' addresses:*

Izv. prof. dr. sc. Ante Seletković \*

e-pošta: aseletkovic@sumfak.hr

Prof. dr. sc. Renata Pernar

e-pošta: rpernar@sumfak.hr

Doc. dr. sc. Mario Ančić

e-pošta: mancic@sumfak.hr

Dr. sc. Jelena Kolić

e-pošta: jkolic@sumfak.hr

Zavod za izmjeru i uređivanje šuma

Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Svetošimunska 25

10 000 Zagreb

HRVATSKA

Martina Kičić, mag. ing. silv.

e-pošta: martina.kicic@gmail.com

Grička 8, Sesvete

10360 Zagreb

HRVATSKA

Dr. sc. Alen Berta

e-pošta: aberta@oikon.hr

Oikon d.o.o. – Institut za primijenjenu ekologiju

Trg senjskih uskoka 1–2

10020 Zagreb

HRVATSKA

Dr. sc. Ivan Balenović

e-pošta: ivanb@sumins.hr

Zavod za uređivanje šuma i šumarsku ekonomiku

Hrvatski šumarski institut

Trnjanska cesta 35

10 000 Zagreb

HRVATSKA

\* Glavni autor – *Corresponding author*

Primljeno (*Received*): 28. 8. 2017.

Prihvaćeno (*Accepted*): 15. 9. 2017.

# Utjecaj strukture sastojina na mikroklimu šumskih ekosustava hrasta crnike (*Quercus ilex* L.) i alepskoga bora (*Pinus halepensis* Mill.)

Damir Ugarković, Ivica Tikvić, Martina Šporčić, Željko Španjol, Roman Rosavec

## Nacrtak – Abstract

Na mikroklimu šumske sastojine utječe makroklima širega područja, ali i tip šumskoga ekosustava, topografija, sastav odnosno vrste šumskoga drveća, dob i struktura šumske sastojine. Mnogi ekološki i biološki procesi u šumskim ekosustavima usko su povezani s meteorološkim prilikama i stoga je nužno njihovo poznavanje. Mikroklimatska su istraživanja obavljena na otoku Mljetu. Na ukupno četiri lokacije, dvije u šumi alepskoga bora, a dvije u šumi hrasta crnike s mirtom, postavljene su mikroklimatske stanice. Sastojine su osim različitih glavnih vrsta šumskoga drveća bile i različita uzgojnoga oblika, sastava vrsta, sklopa krošanja, dobi i strukture. Mjerena je temperatura zraka na visini od 1 m, temperatura tla i volumetrijska vlaga tla na dubini od 20 cm. Srednje vrijednosti temperature zraka i temperature tla bile su najveće u šumskoj kulturi rijetkoga sklopa krošanja alepskoga bora. Srednja je vrijednost volumetrijske vlage tla bila najveća u sjemenskoj sastojini s potpunim sklopom krošanja hrasta crnike. Analiza podataka mikroklimatske šumskih ekosustava hrasta crnike i alepskoga bora služi za bolje upoznavanje ekoloških uvjeta tih šumskih ekosustava i staništa.

Ključne riječi: mikroklima, struktura sastojine, hrast crnika, alepski bor

## 1. Uvod – Introduction

U Sredozemlju su šume stoljećima bile izložene intenzivnom antropogenom utjecaju. Najčešće je riječ o nepravilnom iskorištavanju šuma, primjerice o nekontroliranoj sječi, brstu, pašarenju, odnošenju listinca, paleži i o proširenju poljodjelskih površina na račun šuma, prenamjeni šume i šumskoga zemljišta za potrebe razvoja infrastrukture, turizma, vinogradarstva, maslinarstva i slično. Takvi su dugotrajni procesi u kombinaciji s požarima, specifičnim klimatskim obilježjima i erodibilnim tlama postupno doveli do degradacije sredozemnih šumskih ekosustava (Topić i Butorac 2011, Matić i dr. 2011).

Sredozemne se šume u Hrvatskoj većinom razvijaju u eumediteranskom području koje obilježava hrast crnika (*Quercus ilex* L.) i u submediteranskom gdje prevladava hrast medunac (*Quercus pubescens*

Willd.). Hrast crnika i hrast medunac temeljne su vrste drveća klimatogenih šumskih zajednica koje su cilj progresivne sukcesije šumske vegetacije tih područja (Matić i dr. 2011). Uz njih tu rastu dvije temeljne crnogorične vrste drveća. To su alepski bor (*Pinus halepensis* Mill.) u eumediteranu i crni bor (*Pinus nigra* Arn.) u submediteranu. Borovi imaju pionirsku ulogu u progresivnoj sukcesiji šumske vegetacije.

Šumski su ekosustavi pod utjecajem brojnih lokalnih meteoroloških i klimatoloških prilika. Ekofiziološki procesi, kao što su fotosinteza, evapotranspiracija, respiracija, dekompozicija ili razgradnja organske tvari i ostali, usko su povezani s meteorološkim prilikama.

Meteorološki stresni čimbenici, npr. suša, visoka i niska temperatura, hladnoća i još neki drugi, mogu uzrokovati oštećenja u šumskom ekosustavu (Bréda i dr. 2006, Deshayes i dr. 2006). Za proučavanje tih procesa

i otkrivanje mogućih uzroka potrebni su točni podaci o šumskoj klimi (Xia i dr. 2001). Zbog toga je važno poznavanje šumske klime, odnosno mikroklimke. Neki autori upozoravaju na pozitivan utjecaj stabala na mikroklimu, fizikalna obilježja tla i dinamiku vode u tlu (Moreno i dr. 2007).

Pozitivna uloga korijenja stabala na fizikalna obilježja tla uključuju povećanje kapaciteta tla za vodu i veći udio makropora koje su povoljne za infiltraciju i redistribuciju vode u tlu u prostoru ispod nego izvan sklopa krošanja stabala (Joffre i Rambal 1988, Puerto i Rico 1989). U Hrvatskoj o šumskoj mikroklimi šumskih ekosustava hrasta crnike ima relativno malo znanstvenih istraživanja i spoznaja (Ilijanić i Gračanin 1972, Gračanin i Ilijanić 1977, Prpić 1986, Oršanić i dr. 2011). Ekološki problem vegetacije mediteranskoga krša jest nedostatak vode za vrijeme ljetnih mjeseci. Ljetno razdoblje bez oborina ili s vrlo malo kiše popraćeno je visokom temperaturom zraka, tla i geološke podloge, te čestim vjetrovima manjega intenziteta, što izaziva povećanu evapotranspiraciju i ekološku sušu (Prpić 1986). Vodnim režimom sredozemnih biljaka, a među njima i šumskim drvećem bavilo se više istraživača (Ilijanić i Gračanin 1972, Gračanin i Ilijanić 1977, Prpić 1986). Hrast crnika pokazao se više osjetljivim na sušu u usporedbi s drugim konkurentnim drvenastim vrstama (Ogaya i dr. 2003). U gustim neprorijeđenim šumama periodično odumiranje hrasta crnike bilo je zabilježeno za vrijeme jakih suša (Penuelas i dr. 2001).

Borove šume eumediteranskoga područja, osim njegova južnoga dijela, uglavnom su antropogenoga podrijetla. Nastale su sadnjom sadnica na degradiranom kršu. Poslije su se te sastojine, a ponajviše sastojine alepskoga bora, prirodno proširile na okolne neobrasle šumske terene te prostore napuštenih vinograda i maslinika.

Alepski je bor pionirska vrsta drveća koja se naselila umjetno ili prirodno na degradirana staništa hrasta crnike.

Cilj je ovoga istraživanja bio utvrditi razlike u vrijednostima temperature zraka (°C), temperature tla (°C) i volumetrijske vlage tla (%) u dvjema različitim šumskim zajednicama i četirima šumskim sastojinama različitih strukturnih obilježja. Analizom podataka mikroklimke cilj je bio bolje upoznati ekološke uvjete šumskih staništa.

## 2. Materijal i metode rada – *Material and methods*

Istraživanje je obavljeno u Nacionalnom parku Mljet na otoku Mljetu. Površina Nacionalnoga parka Ml-

jeta iznosi 5480 ha i nalazi se na sjeverozapadnom dijelu otoka. Geološku podlogu čine karbonatne i silikatne stijene te razni njihovi oblici. Od karbonatnih stijena najprošireniji su vapnenci, a od tipova tala kalkokambisoli i litosoli, a manjim dijelom i rendzina na vapnencu i dolomitu (Pernar i dr. 2011). Srednja godišnja temperatura zraka iznosi 16,4 °C, a srednja godišnja količina oborine 770 mm (Seletković i dr. 2011).

Mikroklimatska istraživanja obavljena su od svibnja do rujna 2013. godine. Na ukupno četiri lokacije, dvije u šumi alepskoga bora, a dvije u šumi hrasta crnike s mirtom, postavljene su mikroklimatske stanice. Mjerenja su obavljena u intervalu od jednoga sata mikroklimatskom stanicom »Spectrum« (N = 3498). Mjerena je temperatura zraka (°C) na visini od 1 m, temperatura tla (°C) i volumetrijska vlaga tla (%) na dubini od 20 cm. Istraživanjem su obuhvaćene četiri pokusne plohe različitih glavnih vrsta šumskoga drveća i različitih strukturnih obilježja odnosno uzgojnoga oblika, dobi i sklopa krošanja (tablica 1). Pokusne plohe bile su dimenzija 50 × 50 m i istih reljefnih uvjeta (ekspozicija, nagib, nadmorska visina) tipa šumskoga tla.

U tablici 1 prikazana su stanišna i sastojinska obilježja pokusnih ploha na području istraživanja. Sastojine su imale slične reljefne i pedološke uvjete te stjevnovitost terena. Pokusna ploha PP 1 bila je u šumskoj kulturi alepskoga bora s rijetkim sklopom krošanja. Pokusna ploha PP 2 bila je u prirodnoj sastojini alepskoga bora s potpunim sklopom krošanja. Pokusna ploha PP 3 bila je u mješovitoj sastojini hrasta crnike niskoga uzgojnoga oblika s potpunim sklopom krošanja, a pokusna ploha PP 4 bila je smještena u čistoj sastojini hrasta crnike visokoga uzgojnoga oblika s potpunim sklopom krošanja.

Prikupljeni podaci o prsnom promjeru i visini na pokusnim ploham poslužili su za izračunavanje glavnih strukturnih elemenata: (N) broj stabala ili gustoća sastojine, (G) temeljnica i (V) volumen, za svaku pokusnu plohu, po vrstama drveća, debljinskim razredima i etažama te ukupno. Taksacijska je granica bila 2 cm. Kako za zeleniku (*Phillyrea angustifolia* L.), lempriku (*Viburnum tinus* L.), običnu planiku (*Arbutus unedo* L.), veliki vriješ (*Erica arborea* L.) i šmriku (*Juniperus oxycedrus* L.) nisu utvrđeni parametri Schumacher-Hallove funkcije, prilikom obračuna za navedene vrste primijenjeni su parametri hrasta crnike (*Quercus ilex* L.).

Analiza podataka (deskriptivna statistika, linearna korelacija, ANOVA) obrađena je u programima SpecWare 8.0 i Statistica 7.1 (StatSoft, Inc., 2003).

**Tablica 1.** Stanišna i sastojinska obilježja pokusnih ploha**Table 1** Habitat and stand characteristics of experimental plots

| Obilježja – Characteristics   | Pokusne plohe – Experimental plots                     |                                 |                    |                                 |
|---|--|---------------------------------|--------------------|---------------------------------|
|   | PP 1   | PP 2                            | PP 3               | PP 4                            |
| Površina, ha – Area, ha   | 0,25   | 0,25                            | 0,25               | 0,25                            |
| Fitocenoza* – Phytocoenosis*  | Ph – Qi  | Ph – Qi                         | Qi – Mc            | Qi – Mc                         |
| Uzgojni oblik – Silvicultural form                                  | Kultura<br>Forest cultures                             | Sjemenjača<br>High forest stand | Panjača<br>Coppice | Sjemenjača<br>High forest stand |
| Nadm. visina, m – Altitude, m                                       | 100  | 110                             | 115                | 110                             |
| Nagib, % – Slope, %   | 10   | 9                               | 11                 | 11                              |
| Ekspozicija – Exposition  | Zapad-jugozapad – West-southwest                       |                                 |                    |                                 |
| Tip tla – Soil type   | Kalkokambisol na vapnencu – Calcocambisol on limestone |                                 |                    |                                 |
| Stjenovitost, % – Rockiness, %                                      | 60   | 50                              | 50                 | 50                              |
| Sklop krošanja – Canopy stand                                       | Rijedak – Sparse                                       | Potpun – Dense                  | Potpun – Dense     | Potpun – Dense                  |
| Dob, godine – Age, years  | 35   | 55                              | 45                 | 70                              |
| Visina sastojine, m – Stand height, m                               | 18   | 17                              | 15                 | 17                              |
| Broj stabala, N/ha – Number of trees, N/ha                          | 700  | 888                             | 1550               | 1626                            |
| Temeljnica, m <sup>2</sup> /ha – Basal area, m <sup>2</sup> /ha     | 22,24  | 28,66                           | 22,46              | 42,37                           |
| Drvni volumen, m <sup>3</sup> /ha – Wood volume, m <sup>3</sup> /ha | 131,12   | 184,38                          | 119,02             | 230,7                           |
| Sastav vrsta, % ** – Tree species composition, % **                 |  |                                 |                    |                                 |
| <i>Arbutus unedo</i>  | 0,30   | –                               | 5,25               | –                               |
| <i>Quercus ilex</i>   | 1,50   | 1,50                            | 57,85              | 99,39                           |
| <i>Phillyrea angustifolia</i>                                       | 0,20   | 0,34                            | 4,91               | 0,46                            |
| <i>Pinus halepensis</i>   | 98,0   | 98,0                            | 30,0               | –                               |
| <i>Pistacia terebinthus</i>   | –  | 0,16                            | –                  | –                               |
| <i>Viburnum tinus</i>   | –  | –                               | 1,99               | 0,15                            |

\* Ph-Qi – Alepski bor i hrast crnika – Aleppo pine and holm oak

Qi-Mc – Hrast crnika s mirtom – Holm oak with myrtle

\*\* Sastav vrsta je iskazan u (%) prema ukupnom drvnom volumenu sastojine – Tree species composition (%) according to total wood volume of stand

### 3. Rezultati istraživanja – Results

Prema podacima prikazanima u tablici 2 najveće amplitude temperature zraka i temperature tla bile su u sastojinama alepskoga bora. Najveća je amplituda volumetrijske vlage tla bila u sastojini hrasta crnike visokoga uzgojnoga oblika, sjemenjači (13,7 %). Najmanje amplitude temperature zraka i temperature tla bile su u sastojini hrasta crnike niskoga uzgojnoga oblika (panjača). Najviše vrijednosti temperature zraka (38,5 °C) i tla (27,6 °C) izmjerene su u kulturi alepskoga bora. Najviša vrijednost volumetrijske vlage tla u iznosu od 23,0 % izmjerena je u šumi hrasta crnike visokoga uzgojnoga oblika (sjemenjača). Najmanja volumetrijska vlaga tla u iznosu od 0 % izmjerena je u kulturi alepskoga bora (tablica 2).

Slika 1 prikazuje srednje vrijednosti temperature zraka po mjesecima. Srednja temperatura zraka na svim četirima pokusnim plohama kretala se jednako, do kolovoza je rasla, a zatim je padala. Najviša temperatura izmjerena je na PP 1, u šumi alepskoga bora s rijetkim sklopom, a najniža se temperatura pojavljuje u šumi hrasta crnike niskoga i visokoga uzgojnoga oblika (PP 3 i PP 4).

Usporede li se sastojine alepskoga bora gustoga i rijetkoga sklopa, može se uočiti kako su vrijednosti u sastojini rijetkoga sklopa mnogo veće. Vrijednosti temperature tla u sastojinama hrasta crnike visokoga i niskoga uzgojnoga oblika manje se razlikuju (slika 2).

Srednje vrijednosti volumetrijske vlage tla bile su veće u sastojinama hrasta crnike s mirtom u odnosu



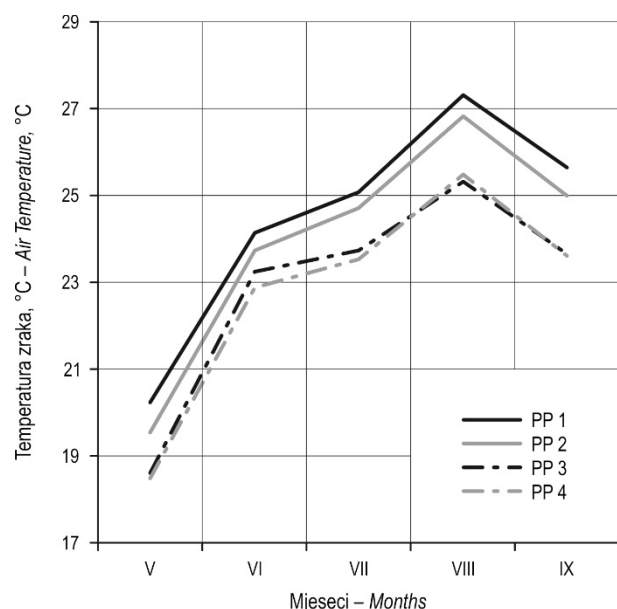
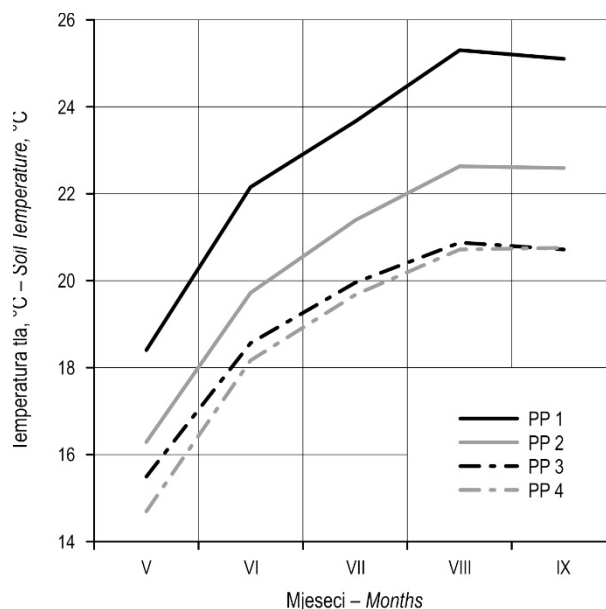
**Tablica 2.** Deskriptivna statistika klimatskih elemenata**Table 2** Descriptive statistics of climate elements

| Pokusne plohe<br><i>Experimental plots</i> | Klimatski elementi*<br><i>Climate elements*</i> | Statističke varijable – <i>Variables</i> |      |      |
|--|---|--|------|------|
|  |   | Kolebanje<br><i>Variation</i>            | Min. | Max. |
| PP 1                                       | $T_z$   | 28,6                                     | 9,9  | 38,5 |
|  | $T_t$   | 12,8                                     | 14,8 | 27,6 |
|  | WVC   | 9,5                                      | 0,0  | 9,5  |
| PP 2                                       | $T_z$   | 29,5                                     | 9,3  | 38,8 |
|  | $T_t$   | 10,2                                     | 14,1 | 24,3 |
|  | WVC   | 11,7                                     | 2,3  | 14,0 |
| PP 3                                       | $T_z$   | 23,4                                     | 10,9 | 34,3 |
|  | $T_t$   | 8,4                                      | 13,5 | 21,9 |
|  | WVC   | 11,2                                     | 8,9  | 20,1 |
| PP 4                                       | $T_z$   | 23,7                                     | 10,5 | 34,2 |
|  | $T_t$   | 9,3                                      | 12,6 | 21,9 |
|  | WVC   | 13,7                                     | 9,3  | 23,0 |

\*  $T_z$  – Temperatura zraka, °C – Air temperature, °C $T_t$  – Temperatura tla, °C – Soil temperature, °C

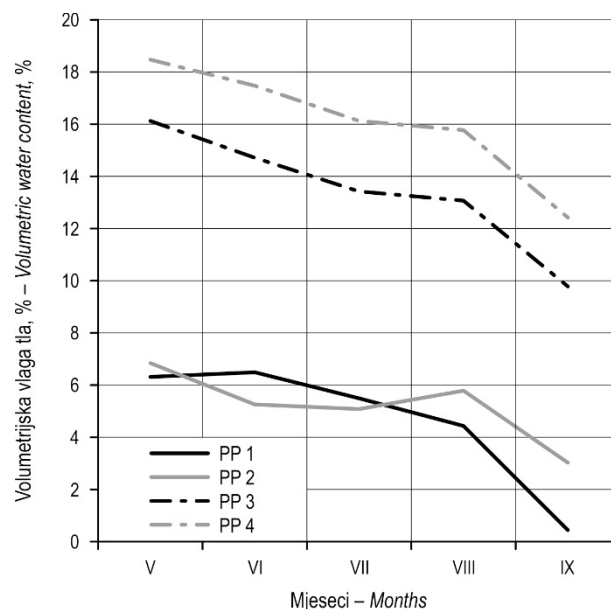
WVC – Volumetrijska vlaga tla, % – Volumetric water content, %

na sastojine alepskoga bora. Srednje mjesečne vrijednosti volumetrijske vlage tla u kulturi alepskoga bora bile su u rasponu od 6,5 % do 0,4 %, a u sjemenjači

**Slika 1.** Srednje vrijednosti temperature zraka (°C) po mjesecima**Fig. 1** Average air temperatures (°C) by months**Slika 2.** Srednje vrijednosti temperature tla (°C) po mjesecima**Fig. 2** Average soil temperatures (°C) by months

alepskoga bora od 6,8 % do 3,0 %. U panjači hrasta crnike srednje mjesečne vrijednosti volumetrijske vlage tla bile su u rasponu od 16,1 % do 9,8 %, a u sjemenjači su se kretale u rasponu od 18,5 % do 12,4 % (slika 3).

U tablici 3 prikazana je usporedba srednjih vrijednosti klimatskih elemenata. Najveća srednja vrijednost

**Slika 3.** Srednje vrijednosti volumetrijske vlage tla (%) po mjesecima**Fig. 3** Average volumetric water content (%) by months

**Tablica 3.** Usporedba srednjih vrijednosti klimatskih elemenata

**Table 3** Climate elements in different experimental plots (LSMean  $\pm$  SD)

| Klimatski elementi – Climate elements                    | Pokusne plohe – Experimental plots         |                 |                 |                 |
|--|--|-----------------|-----------------|-----------------|
|  | PP 1                                       | PP 2            | PP 3            | PP 4            |
|  | Prosjeak $\pm$ Std. dev. – LSMean $\pm$ SD |                 |                 |                 |
| Temperatura zraka, °C – Air temperature, °C              | 24,6 $\pm$ 4,4a                            | 24,1 $\pm$ 4,6b | 23,0 $\pm$ 3,9c | 22,9 $\pm$ 3,9c |
| Temperatura tla, °C – Soil temperature, °C               | 23,0 $\pm$ 2,7a                            | 20,6 $\pm$ 2,5b | 19,2 $\pm$ 2,0c | 18,9 $\pm$ 2,3d |
| Volumetrijska vlaga tla, % – Volumetric water content, % | 4,7 $\pm$ 2,3a                             | 5,2 $\pm$ 1,7b  | 13,4 $\pm$ 2,4c | 16,1 $\pm$ 2,1d |

<sup>a,b,c,d</sup> Vrijednosti unutar reda označene različitim slovom značajno se razlikuju ( $p < 0,05$ )

<sup>a,b,c,d</sup> Values within row marked with different letters differ significantly ( $p < 0,05$ )

temperature zraka u iznosu od 24,6 °C izmjerena je u kulturi alepskoga bora, a najmanja srednja vrijednost 22,9 °C u sjemenjači hrasta crnike. Nisu utvrđene statistički značajne razlike u srednjim vrijednostima temperature zraka između panjače i sjemenjače hrasta crnike s mirtom. Najveća je prosječna vrijednost temperature tla izmjerena u kulturi alepskoga bora (23,0 °C), a volumetrijske vlage tla u sjemenjači hrasta crnike s mirtom (16,1 %). Utvrđene su statistički značajne raz-

like u vrijednostima temperature tla i volumetrijske vlage tla u svim istraživanim sastojinama. Nisu utvrđene statistički značajne razlike u prosječnim vrijednostima temperature zraka između sastojine hrasta crnike različite dobi uzgojnoga oblika (tablica 3).

Korelacije temperature zraka i temperature tla bile su pozitivne, a korelacije temperature zraka i temperature tla u odnosu na volumetrijsku vlagu tla bile su negativne. Korelacije temperature zraka i tla te temperature tla i volumetrijske vlage tla prema jačini bile su jake, dok su korelacije temperature zraka i volumetrijske vlage tla bile slabe. Najveće korelacije klimatskih elemenata utvrđene su u sastojini sjemenjači hrasta crnike s mirtom (tablica 4).

**Tablica 4.** Korelacijski koeficijenti klimatskih elemenata prema pokusnim ploham

**Table 4** Correlation coefficients of climate elements according to experimental plots

| Ploha PP 1 – Plot PP 1 | $T_z$  | $T_t$  | WVC  |
|------------------------|--------|--------|------|
| $T_z$                  | 1,00   | –      | –    |
| $T_t$                  | 0,61*  | 1,00   | –    |
| WVC                    | –0,26* | –0,56* | 1,00 |
| Ploha PP 2 – Plot PP 2 | $T_z$  | $T_t$  | WVC  |
| $T_z$                  | 1,00   | –      | –    |
| $T_t$                  | 0,58*  | 1,00   | –    |
| WVC                    | –0,33* | –0,55* | 1,00 |
| Ploha PP 3 – Plot PP 3 | $T_z$  | $T_t$  | WVC  |
| $T_z$                  | 1,00   | –      | –    |
| $T_t$                  | 0,64*  | 1,00   | –    |
| WVC                    | –0,38* | –0,68* | 1,00 |
| Ploha PP 4 – Plot PP 4 | $T_z$  | $T_t$  | WVC  |
| $T_z$                  | 1,00   | –      | –    |
| $T_t$                  | 0,66*  | 1,00   | –    |
| WVC                    | –0,37* | –0,72* | 1,00 |

$T_z$  – Temperatura zraka – Air temperature

$T_t$  – Temperatura tla – Soil temperature

WVC – Volumetrijska vlaga tla – Volumetric water content

\* Signifikantno na razini  $p < 0,05$  – Significant at  $p < 0,05$

## 4. Rasprava – Discussion

Šumsko drveće i sastojine imaju značajan utjecaj na lokalnu klimu. Uz to šuma ima i svoju, određenu mikroklimu. Šumska mikroklima ovisi o makroklimi širega područja, ali i o sastavu odnosno vrstama šumskoga drveća te stanju šumske sastojine. Sječom šumskoga drveća u sastojini mijenjamo i mikroklimatske uvjete (Aussenac 2000). Isto tako nepravilnim i nekontroliranim sječama sastojina sjemenjača i njihovim prevođenjem u sastojine panjača također mijenjamo mikroklimatske uvjete određene sastojine. Zbog nekontroliranih sječa i prevođenjem sastojina u niže uzgojne oblike mikroklimatski uvjeti u tim sastojinama postaju nepovoljniji.

U šumskoj kulturi alepskoga bora s rijetkim sklopom krošanja izmjerili smo najveće srednje vrijednosti temperature zraka i tla, te najmanju vlagu tla u odnosu na prirodnu sastojinu alepskoga bora potpunoga sklopa krošanja. Sastojine rijetkoga sklopa krošanja imaju i manji indeks lisne površine u odnosu na sastojine potpunoga sklopa krošanja (Aussenac 2000) te u njih dolazi veća količina Sunčeva zračenja.

U sastojinama alepskoga bora izmjerili smo veću temperaturu zraka i tla te manju vlagu tla u odnosu na sastojine hrasta crnike. Alepski bor kao vrsta šumskoga drveća ima rijetku krošnju (Prpić i dr. 2011) te ima i manji indeks lisne površine u odnosu na hrast crniku.

U sastojine s rijetkim sklopom krošnja, sa šumskim drvećem koje ima rijetku krošnju i manjim indeksom lisne površine, dolazi više Sunčeva zračenja, pa je i veća temperatura zraka unutar sastojine, a analogno tomu i veća temperatura tla te manja vlaga tla. Prema istraživanjima Joffre i Rambal (1993) vlaga je tla uvijek veća ispod u odnosu na područje izvan sklopa krošnja stabala. Sklop krošnja stabala ublažava utjecaj Sunčeva zračenja odnosno topline pa s time i temperaturne razlike između rijetkoga i potpunoga sklopa krošnja. Kao što je i dobiveno korelacijskim analizama u tablici 4, temperatura je tla ovisna o temperaturi zraka. Zbog značajne razlike u temperaturi zraka između sastojina alepskoga bora s rijetkim i potpunim sklopom krošnja, odnosno šumske kulture i prirodne sastojine, utvrđene su i značajne razlike u temperaturi tla. Najmanja temperatura zraka i najmanja temperatura tla imaju niže vrijednosti u sastojinama hrasta crnike u odnosu na sastojine alepskoga bora.

Promjene temperature zraka u vanjskoj atmosferi oko šume utječu i na šumsku mikroklimu. One se najjače odražavaju neposredno na površini samih krošnja, gdje i najmanje povećanje temperature vanjske atmosfere dolazi najjače do izražaja (Ugarković i dr. 2012). Zbog toga su stanje sklopa krošnja i osutost krošnja stabala vrlo važni za sastojinsku mikroklimu.

Veća temperatura tla u panjači hrasta crnike utječe i na manju vlagu tla u panjači u odnosu na sastojinu visokoga uzgojnoga oblika (sjemenjača). Vlaga je tla u šumama alepskoga bora manja jer je, kao što se već pokazalo pomoću korelacijske analize klimatskih elemenata, temperatura zraka i tla u negativnoj korelaciji s vlagom tla (tablica 4).

Najveće apsolutno kolebanje temperature zraka i tla bilo je u sastojinama alepskoga bora, a najmanje u mješovitoj sastojini hrasta crnike niskoga uzgojnoga oblika. S obzirom na to da rijetke krošnje alepskoga bora propuštaju više Sunčeva zračenja u sastojinu, temperaturni su uvjeti više pod utjecajem kolebanja lokalne klime i makroklimе. Mješovita sastojina hrasta crnike s potpunim sklopom ublažava temperaturna kolebanja u samoj sastojini.

Najveće apsolutno kolebanje vlage tla bilo je u čistoj sastojini hrasta crnike visokoga uzgojnoga oblika, a najmanje u kulturi alepskoga bora. Hrast crnika s obzirom na zahtjeve prema vodi manji je kserofit od alepskoga bora (Prpić i dr. 2011). To znači da mu je potrebna veća

količina raspoložive vode odnosno vlage u tlu, pa je zato i apsolutno kolebanje vlage u tlu bilo veće.

Uz temperaturu zraka koja ovisi o oblačnosti i insolaciji zraka, oborina ima najveće značenje za razvoj vegetacije jer je ona glavni izvor vlage u tlu. Manjak oborine, uz pojavu visoke temperature zraka, slabi otpornu snagu šumskoga drveća jer se pojačanom transpiracijom troši velika količina vode.

Prema Prpiću (1986) hrast crnika je kserofit, ali u usporedbi s alepskim borom hrast crnika je manji kserofit. Mikroklimatski su uvjeti u šumskim ekosustavima alepskoga bora nepovoljniji za rast i razvoj vegetacije u odnosu na mikroklimatske uvjete u sastojinama hrasta crnike. U šumama alepskoga bora temperatura je zraka veća, a volumetrijska vlaga tla manja u odnosu na mikroklimu sastojina hrasta crnike. Prema istraživanjima Ogaya i dr. (2003) suša je povećala odumiranje stabala hrasta crnike u sastojinama niskoga uzgojnoga oblika, vjerojatno zbog toga jer su to ograničavajući uvjeti za razvoj hrasta crnike.

Terestričke biljke opskrbljuju se vodom uglavnom samo korijenskim sustavom, a u manjoj se mjeri koriste izravno i vodom atmosfere (Gračanin i Ilijanić 1977). Prema rezultatima Oršanića i dr. (2011) vlaga je tla statistički značajno uvjetovana temperaturom zraka, točkom rosišta i količinom oborine. Prema našim rezultatima na vlagu tla značajno su utjecale temperatura zraka i temperatura tla. Povećanjem temperature zraka i temperature tla značajno se smanjivala vlaga tla u svim istraživanim sastojinama.

U današnjim uvjetima promjene makroklimе događaju se i promjene mikroklimе, tj. mikroklimatskih uvjeta. Prema istraživanjima Sardansa i Penuelasa (2004) u bliskoj budućnosti za sredozemne šumske ekosustave treba očekivati duža i češća razdoblja suše.

Očekuje se da će se u Sredozemlju do kraja 21. stoljeća smanjiti količina oborine zbog klimatskih promjena (Limousin i dr. 2008), što će svakako imati velik utjecaj na negativnu vodnu bilancu u tlu tijekom ljetnih mjeseci.

Proreda je dio njege koji traje najduže, a kojom se, nažalost, u sredozemnim šumama dosad nije posvećivala velika pozornost. Ona je značajna zbog toga što omogućuje formiranje ne samo bolje, stabilnije i produktivnije sastojine (Matić i dr. 1997) već i bolji vodni status šumskoga drveća (Moreno i Cubera 2008), izbjegavanje jake unutarvršne konkurencije i povećanje otpornosti stabala na sušni stres (Gracia i dr. 1999), ali i bolju vodnu bilancu šumskoga tla. Na transpiraciju djeluju temperatura vode ili tijela iz kojega vodena para odlazi, temperatura zraka, vlažnost

zraka i brzina vjetra. Ona se ubrzava ako se poveća temperatura, pojača vjetar i smanji relativna vlažnost zraka. Utjecaji temperature, relativne vlažnosti i brzine vjetra na isparavanje vode s tla i biljaka (evapotranspiraciju) imaju odnos 80 : 6 : 14 (Penzar i Penzar 2000).

Analiza podataka mikroklimе šumskih ekosustava hrasta crnike služi za bolje upoznavanje ekoloških uvjeta šumskih staništa. Daljnja je praktična primjena rezultata mjerenja u proučavanju šumske klime i njezina utjecaja na razne vrste drveća. U budućim istraživanjima povezivanje mikroklimatskih čimbenika s brojnim morfološko-biološkim obilježjima hrasta crnike (fenologija, kljavost, visinski rast, mortalitet, korijenski sustav) omogućit će bolje razumijevanje funkcioniranja tih složenih šumskih ekosustava.

## 5. Zaključci – Conclusions

Struktura šumske sastojine utječe na vrijednosti analiziranih mikroklimatskih elemenata. Kod alepskoga bora struktura je utjecala na vrijednosti temperature zraka, tla i vlage tla, a kod hrasta crnike struktura sastojine utjecala je na vrijednosti temperature tla i vlage tla. Šumski ekosustav s obzirom na glavnu vrstu šumskoga drveća također utječe na vrijednosti mikroklimatskih elemenata. Prosječne vrijednosti temperature zraka i tla bile su najveće u kulturi alepskoga bora, dok je prosječna vrijednost volumetrijske vlage tla bila najveća u sastojini s gustim sklopom krošanja u šumi hrasta crnike visokoga uzgojnoga oblika. Najveće apsolutno kolebanje temperature zraka i temperature tla bilo je u sastojinama alepskoga bora, a najmanje u mješovitoj sastojini hrsta crnike niskoga uzgojnoga oblika. Najveće apsolutno kolebanje vlage tla bilo je u čistoj sastojini hrsta crnike visokoga uzgojnoga oblika, a najmanje u kulturi alepskoga bora. Povećanjem temperature zraka statistički se značajno povećava temperatura tla, a smanjuje vrijednost volumetrijske vlage tla.

Korelacije su između vrijednosti temperature zraka i tla te između temperature tla i volumetrijske vlage tla jake, dok su korelacije između temperature zraka i volumetrijske vlage tla slabe. Prema jakosti jače korelacije između mikroklimatskih elemenata utvrđene su u sastojinama hrasta crnike u odnosu na sastojine alepskoga bora.

## 6. Literatura – References

Aussenac, G., 2000: Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Annales of Forest Science*, 57(3): 287–301.

Bréda, N., R. Huc, A. Granier, E. Dreyer, 2006: Temperate forest tree and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. *Annals of Forest Science*, 63(6): 625–644.

Deshayes M., D. Guyon, H. Jeanjean, N. Stach, A. Jolly, O. Hagolle, 2006: The contribution of remote sensing to the assessment of drought effects in forest ecosystems. *Annals of Forest Science*, 63(6): 579–595.

Gracia, C. A., S. Sabaté, J. M. Martínez, E. Albeza, 1999: Functional responses to thinning. In: *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests Ecological Studies* (ed. F. Rodá, J. Retana, C. A. Gracia, J. Bellot), Springer, Berlin, 329–338.

Gračanin, M., Lj. Ilijanić, 1977: Uvod u ekologiju bilja (Introduction to plant ecology). Školska knjiga, Zagreb, 289 str.

Ilijanić, Lj., M. Gračanin, 1972: Zum Wasserhaushalt einiger mediterraner Pflanzen (Water balance of some Mediterranean plants). *Deutsche Botanische Gesellschaft*, 329–339.

Joffre, R., S. Rambal, 1988: Soil water improvement by trees in the range-lands of southern Spain. *Oecologia plantarum*, 9: 405–422.

Joffre, R., S. Rambal, 1993: How tree cover influences the water balance of Mediterranean rangelands. *Ecology*, 74(2): 570–582.

Limousin, J. M., S. Rambal, J-M., Ourcival, R. Joffre, 2008: Modelling rainfall interception in a mediterranean *Quercus ilex* ecosystem: Lesson from a throughfall exclusion experiment. *Journal of Hydrology*, 357(1): 57–66.

Matić, S., I. Anić, M. Oršanić, S. Mikac, 2011: Njega i obnova šuma hrvatskog Sredozemlja (Tending and regeneration of forests in the Croatian Mediterranean region). U: *Šume hrvatskoga Sredozemlja* (ur. S. Matić), Akademija šumarskih znanosti i Hrvatske šume, Zagreb, 375–386.

Matić S., I. Anić, M. Oršanić, 1997: Podizanje, njega i obnova šuma kao temeljni preduvjeti ekološkog, društvenog i gospodarskog napretka mediterana (Afforestation, tending and regeneration as the basic prerequisites for an ecological, social and economic development of the mediterranean). *Šumarski list*, 121(9–10): 463–472.

Moreno, G., E. Cubera, 2008: Impact of stand density on water status and leaf gas exchange in *Quercus ilex*. *Forest Ecology and Management*, 254(1): 74–84.

Moreno, G., J. J. Obrador, E. García, E. Cubera, M.J. Montero, F. J. Pulido, C. Dupraz, 2007: Driving competitive and facilitative interactions in oak dehesas with management practices. *Agroforestry System*, 70(1): 25–40.

Ogaya, R., J. Penuelas, J. Martínez-Vilata, M. Mangirón, 2003: Effect of drought on diameter increment of *Quercus ilex*, *Phillyrea latifolia* and *Arbutus unedo* in a Holm oak forest of NE Spain. *Forest Ecology and Management*, 180(1): 175–184.

Oršanić, M., D. Drvodelić, D. Ugarković, 2011: Ekološko-biološke značajke hrasta crnike (*Quercus ilex* L.) na otoku Rabu (Ecological and biological properties of holm oak /

*Quercus ilex* L./ on the Island Rab). Croatian Journal of Forest Engineering, 32(1): 31–42.

Penuelas, J., F. Lloret, R. Montoya, 2001: Severe drought effects on Mediterranean woody flora in Spain. Forest Science, 47(2): 214–218.

Penzar, I., B. Penzar, 2000: Agrometeorologija (Agrometeorology). Školska knjiga, Zagreb, 222 str.

Pernar N., B. Vrbek, D. Bakšić, 2011: Tlo (Soil). U: Šume hrvatskoga Sredozemlja (ur. S. Matić), Akademija šumarskih znanosti i Hrvatske šume, Zagreb, 130–138.

Prpić, B., 1986: Odnos hrasta crnike i nekih njegovih pratilica prema vodi i svjetlu (Relation of holm oak and some of companion species to water and light). Glasnik za šumske pokuse, Posebno izdanje, 2: 69–77.

Prpić B., I. Tikvić, M. Idžojić, Z. Seletković, 2011: Ekološka konstitucija značajnijih vrsta drveća i grmlja (Ecological constitution of significant tree and shrub species). U: Šume hrvatskoga Sredozemlja (ur. S. Matić), Akademija šumarskih znanosti i Hrvatske šume, Zagreb, 245–269.

Puerto, A., M. Rico, 1989: Influence of tree canopy (*Quercus rotundifolia* Lam.) on content in surface soil water in Mediterranean grasslands. Ecology (CSSR), 8(3): 225–238.

Sardans, J., J. Penuelas, 2004: Drought decreases soil enzyme activity in a Mediterranean *Quercus ilex* L. Forest. Soil Biology and Biochemistry, 37(3): 455–461.

Seletković Z., I. Tikvić, M. Vučetić, D. Ugarković, 2011: Klimatska obilježja i vegetacija sredozemne Hrvatske (Climatic features and the vegetation of Mediterranean Croatia). U: Šume hrvatskog Sredozemlja (ur. S. Matić), Akademija šumarskih znanosti i Hrvatske šume, Zagreb, 142–156.

StatSoft, Inc. (2003). STATISTICA for Windows. Tulsa: StatSoft, Inc.

Topić V., L. Butorac, 2011: Protuerozijska, hidrološka i vodozaštitna uloga sredozemnih šuma (Anti-erosion, hydrological and water-protection role of Mediterranean forests). U: Šume hrvatskoga Sredozemlja (ur. S. Matić), Akademija šumarskih znanosti i Hrvatske šume, Zagreb, 307–325.

Ugarković, D., Z. Seletković, B. Smaržija, 2012: Mikroklima šumskih zajednica obične jele (*Abies alba* Mill.) na području Gorskog kotara (Microclimate of silver fir (*Abies alba* Mill.) forest associations in the area of Gorski Kotar). Radovi (Hrvatski šumarski institut), 45(1): 39–48.

Xia, Y., P. Fabian, M. Winterhalter, M. Zhao, 2001: Forest climatology: estimation and use of daily climatological data for Bavaria, Germany. Agricultural and Forest Meteorology, 106: 87–103.

---

## Abstract

---

### *Effect of Stand Structure on Microclimate of Holm Oak (Quercus ilex L.) and Aleppo Pine (Pinus halepensis Mill.) Forest Ecosystems*

Forest stand microclimate is affected by macroclimate of the surrounding area, but also by soil type of forest ecosystems, topography, tree species composition, age and structure of forest stand. Numerous ecological and biological processes in forest ecosystems are tightly connected with meteorological conditions and, therefore, it is necessary to know them. Microclimate researches were made in the area of the Island of Mljet. Microclimate stations were established at four locations, two in Aleppo pine forest, and two in Holm oak with myrtle forest. Apart from different main forest tree species, stands had different silvicultural form, tree species composition, stand canopy, age and structure. Air temperature (°C) was measured at one meter above the ground, and soil temperature (°C) and soil volumetric water content VWC (%) were measured at a depth of 20 cm. Average air and soil temperatures were the highest in the stand with sparse canopy stand in Aleppo pine forest. Average soil volumetric water content was the highest in the high forest stand with dense canopy of Holm oak. Analysis of microclimate in Holm oak and Aleppo pine forest ecosystems is used to better understand ecological conditions in these forest ecosystems and habitats.

**Keywords:** microclimate, stand structure, Holm oak, Aleppo pine

---

Adrese autorâ – *Authors' addresses:*

Doc. dr. sc. Damir Ugarković \*  
e-pošta: damir.ugarkovic@gs.htnet.hr  
Prof. dr. sc. Ivica Tikvić  
e-pošta: ivica.tikvic@zg.htnet.hr  
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
Zavod za ekologiju i uzgajanje šuma  
Svetošimunska cesta 25  
10000 Zagreb  
HRVATSKA

Martina Šporčić, mag. ing. silv.  
e-pošta: martina.sporcic01@gmail.com  
Vinogradarski put 72c  
30370 Dugo Selo  
HRVATSKA

Prof. dr. sc. Željko Španjol  
e-pošta: spanjol@sumfak.hr  
Doc. dr. sc. Roman Rosavec  
e-pošta: rosavec@sumfak.hr  
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
Zavod za ekologiju i uzgajanje šuma  
Svetošimunska cesta 25  
10000 Zagreb  
HRVATSKA

Primljeno (*Received*): 14. 7. 2017.  
Prihvaćeno (*Accepted*): 30. 8. 2017.

\* Glavni autor – *Corresponding author*





# Locating Log Depots and Forest Roads Using a Weighted-Graph Optimization Algorithm

Aidin Parsakhoo, Majid Lotfalian

## *Abstract – Nacrtak*

*Sustainable management of commercial forests can be achieved within the limits provided by an optimal, well-designed haul network with low-cost roads and skidding. In this study, a weighted-graph algorithm consisting of nodes (candidate log depots) and links (candidate forest roads) was used to optimize the haul network. The value of each link and node was calculated for thirty six candidate road in harvesting units of an Iranian forestry plan. The analysis of the nodes revealed different skidding costs because of different skidding and winching distances as well as number of logs. Total skidding cost for each node allowed identifying the least-cost depots and designing the links as a support to decisions on road network location. Road cost depends on the length and longitudinal gradient of links, side slope of terrain and unit cost of link construction. In general, the construction cost of each link increased by increasing the link length, side slope gradient and longitudinal gradient. According to our findings, the nodes and links constructed on low slope terrain are the least-costly. The information provided in this paper contributes to the development of knowledge about the usefulness of GIS-based weighted-graph algorithm in determining optimal road network in a forest. Total skidding cost is less for a log depot if there are more marked trees in the related cell. So, if the number of marked trees in the vicinity of the depot is higher and the distance to the depot is lower, the total skidding cost of the depot becomes lower.*

*Keywords: weighted-graph, forest road, log depot, least-cost, optimization, GIS*

## 1. Introduction – Uvod

The forest road network plays a critical role in providing both access to forest products and human mobility (Lee and Lee 1998, Stefanović et al. 2015). Forest road is important in harvesting operations, because it can affect total cost of forestry plans (Taiwo and Kumi 2013). Although the presence of road infrastructure network is essential for forest life, scarce literature is available on concurrent optimization of harvesting and road network layouts on steep terrain of Hyrcanian zone. In traditional optimization methods, the evaluation systems cannot be adapted to the needs of sustainable development of forest (Dahlin et al. 1992, Bin 2012, Galatioto et al. 2015). Therefore, nowadays, due to advances in computer sciences and remote sensing softwares, computer optimization models using Geographical Information System (GIS) are becoming practical (Sole and Valverde 2004, Jaafari et al. 2015).

Vector-based model and raster-based model are the two major models in GIS that represent spatial

data for optimization algorithms. Vector-based model uses simple geometric designs such as nodes, links and polygons to represent spatial objects, while raster-based model quantizes an area into small discrete grid-cells. Digital elevation model (DEM) and digital terrain models (DTM) are cell format data sets. By using these models, different link patterns can be formulated to solve complex network theory. In a raster-based system, all cells are uniform and cells can represent a graph with nodes, links, polygons and surfaces. Liu and Dong (2008) used road network analysis algorithm with graph theory including corridor density,  $\alpha$  circuitry index,  $\beta$  line-node ratio, and  $\gamma$  connectivity index. Watanabe (2010) used a proximity graph to analyze the road network patterns of major cities in the United States. Each link of proximity graphs on a digital map was compared with road links. Xie and Levinson (2007) attempted the graph theoretical analysis of transportation networks.

Networks can be classified into regular networks, random networks and complex network (Albert and

Barabasi 2002). Regular networks, such as those used in the present study, have square lattices. A forest transportation network consists of the winching routes that collect felled and bucked trees from the entire cell (a portion of forest on a raster map) to a skidder on skid trail (Lockwood and Moore 1992). Then, timber is hauled on skid trails to a candidate log depot as a node and finally loaded and transported on the road as a link (Lu and Eriksson 2000). Epstein et al. (1994) made the planning software for optimizing the location of roads and log depots in forest operations. Some researchers used a GIS package for digitizing forest topographic maps and calculating distances from each raster cell to the nearest road on the digital terrain model. Besides, raster-based GIS data can be used to locate an optimal log depot in forest operation planning. This model found skid trails from stump to each candidate log depot and selected the best depot location with minimum total skidding and road costs (Liu and Sessions 1993, Tucek 1994, Contreras and Chung 2007). Naghdi and Mohammadi Limaei (2009) used linear programming model to reduce the skidding costs and to determine the optimal forest road network density.

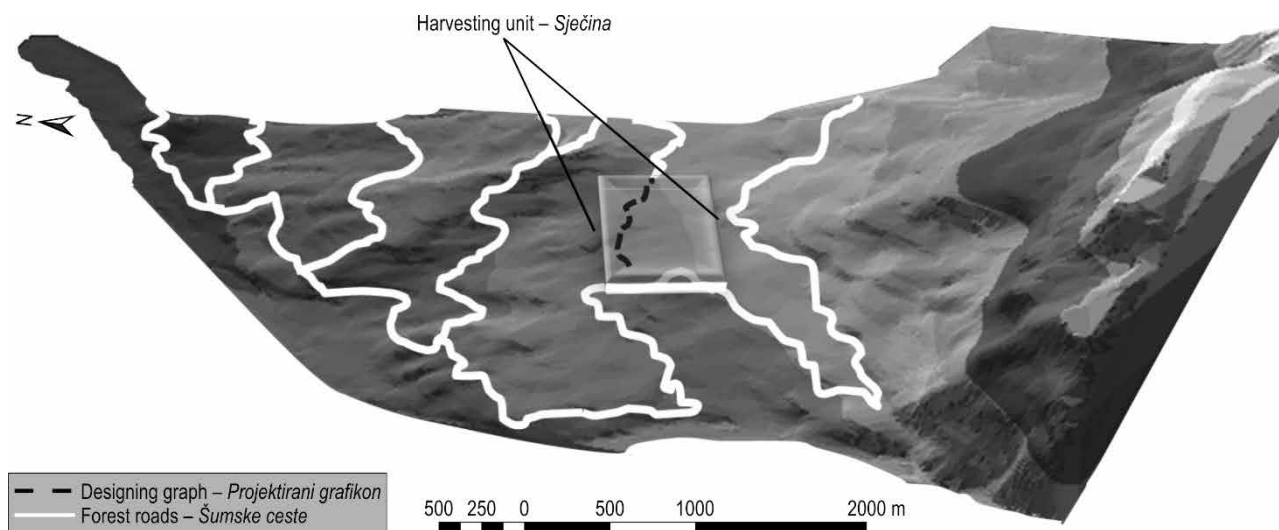
Analysis of graph algorithm, including node and link characteristics of cells, is considered to improve strategic planning of forest road network (Anderson and Nelson 2004). Most existing optimization models for forest road planning do not work well as they assume that road construction costs are homogenous over the entire project area and neglect the total skidding costs for different candidate log depots at a raster cell size scale, whereas in this study construction

cost of road and skidding cost of depot are separately calculated for each link and node. Log depots are temporary timber storage areas at forest road landings (Jourgholami et al. 2013). This study has shown the ability of application of computer techniques and methods in the analysis of the most important factors affecting the total logging costs and selection of optimum density of forest roads in the forest area. Moreover, attempts were made to complete and improve the proposed road network in a forest area taking into consideration various link patterns. This problem was mapped on a graph. The graph consists of a set of nodes and a set of road links between two nodes. The weight of a link represents road costs. Indeed, the objective of this research was to provide a weighted-graph algorithm so that planners could locate the least-cost road variant and log depot. Finally, comments are given on advantages, limitations and improvements of the presented optimization algorithm.

## 2. Materials and Methods – *Materijal i metode*

### 2.1 Creating a graph with nodes and links *Izrada grafikona s čvorovima i vezama*

Bahramnia forest is located in Golestan province and in watershed number 85. This forest is divided into two districts. District I with an area of 1713.3 ha is extended from 36°43'27" to 36°45'6" N and 54°21'26" to 54°24'57" E. District II with an area of 1992 ha is located from 36°42'30" to 36°43'30" N and 54°21'6" to 54°23'30" E.



**Fig. 1** Study area located in northern forests of Iran

**Slika 1.** Područje istraživanja smješteno u sjevernim šumama u Iranu

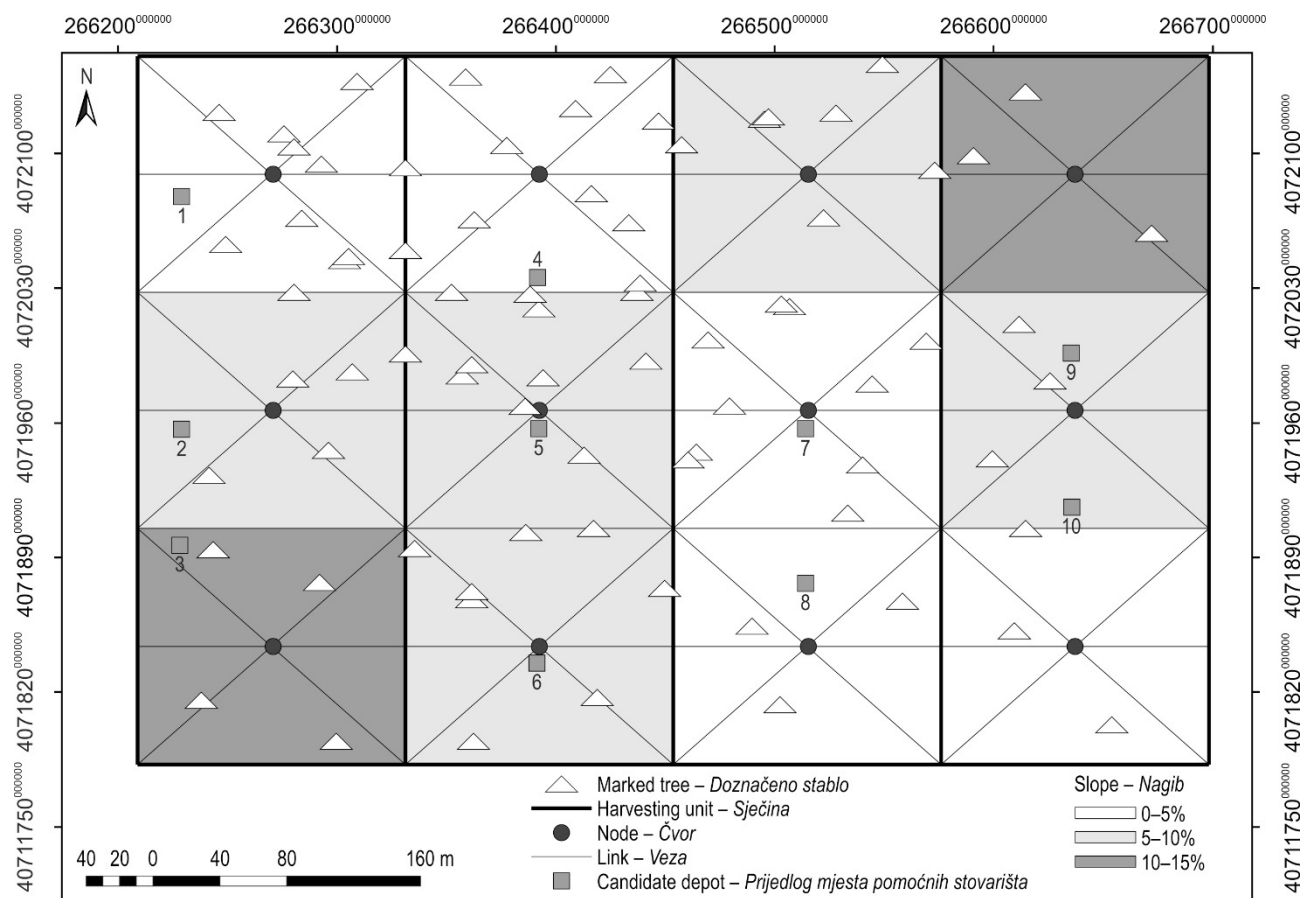
The total length of forest roads in districts I and II is 30.3 and 28 km, respectively (21 km is located in timber compartments with an area of 995 ha). In our study area, single-tree selection method was applied in timber compartments at 10-year intervals. Two cycles of operations have already been done in district I. District II has not been harvested yet. The tree species of the case study are *Parrotia persica*, *Carpinus betulus*, *Fagus orientalis*, *Quercus castaneifolia* and *Zelkova carpinifolia*. The mean density of trees per hectare was 214.92 and the canopy cover was 75–85% (Fig. 1).

In this study, portions of the forest, with trees marked for felling, were selected as harvesting units. A harvesting unit is an area to be harvested by ground-based skidding system and all logs hauled into depots by skidders. To produce the raster-base slope map of this area, the DEM of harvesting units was prepared from topography map and then the slope layer was produced by surface analysis tool. The slope layer of this portion was converted into raster format to use the cell size and cover it with a set of nodes and links.

Each three cells on a vertical line were considered as a harvesting unit. Nodes as candidate log depots were placed on a regular grid and links that represented potential roads were projected to connect the nodes. Links with maximum length of 75 m were connected from a node to eight adjacent nodes (Fig. 2).

## 2.2 Total Skidding Cost (TSC) – *Ukupni troškovi privlačenja (TSC)*

The aim of the optimization algorithm used in this study was to create a graph with several candidate log depots within each harvesting unit. This algorithm can solve the haul network problem by minimizing the sum of road construction plus skidding costs. Depots were located on a slope less than 10% for loading by crane. Candidate depots were arranged on a line in a harvesting unit. The distance between two lines was 150 meters. Indeed, this distance indicates the sum of winch cable length (50 m) and trees average length (25 m) at each side of the skid trail. The model calculates total skidding cost for a candidate depot  $k$  by adding



**Fig. 2** Graph created by links and nodes for a given harvesting unit

**Slika 2.** Grafikon izrađen pomoću veza i čvorišta za istraživanu sječinu

up all the skidding costs from each cell to the candidate log depot  $k$  (Eq. 1) (Contreras and Chung 2007):

$$TSC_k = \sum_{i=1}^m SC_i \quad (1)$$

Where:

- $TSC_k$  total skidding cost for a candidate depot  $k$ , \$
- $m$  total number of cells within the harvesting unit
- $SC_i$  skidding cost from the  $i$ th cell to log depot  $k$ .

The skidding cost for each cell is calculated using Eq. 2 (Contreras and Chung 2007):

$$SC_i = \left[ \left( \frac{CT_i}{60} \right) \times R \right] \times N_i \quad (2)$$

Where:

- $CT_i$  overall time consumption for a skidding cycle (min) from  $i$ th cell to log depot
- $K$  is calculated using Eq. 3 (Mousavi 2012)
- $R$  represents the rental rate of a skidder which was 18.9 \$ hr<sup>-1</sup>,
- $N_i$  number of turns for skidding all timber from  $i$ th cell to log depot  $k$ .

The average timber volume per turn was 1.85 m<sup>3</sup>.

$$CT_i = -2.598 + 0.023 X + 2.187 X_n + 0.122 X_w + 0.279 K_L \quad (3)$$

Where:

- $X$  skidding distance, m
- $X_n$  number of logs
- $X_w$  winching distance, m
- $X_L$  log length, m.

### 2.3 Total Road Cost (TRC) – Ukupni troškovi šumske ceste (TRC)

A set of links were created to connect a forest road from one depot back to the existing network. Once this new road is connected, it is added to the road network. Then the next depot is selected and connected to the road network. The procedure is repeated until all depots are connected. The total road cost for road candidate  $k$  is calculated using Eq. 4 (Contreras and Chung 2007):

$$TRC_k = \sum_{i=1}^e RC_i \quad (4)$$

**Table 1** Road gradient and side slope factors (Contreras and Chung 2007)

**Tablica 1.** Faktori uzdužnoga nagiba šumske ceste i nagiba terena

| Road gradient, %<br><i>Uzdužni nagib šumske ceste, %</i> | Road gradient factor<br><i>Faktor uzdužnoga nagiba šumske ceste</i> | Side slope, %<br><i>Nagib terena, %</i> | Side slope factor<br><i>Faktor nagiba terena</i> |
|--|---|---|--|
| 0–5  | 1.0   | 0–15                                    | 1.0  |
| 5–10   | 1.5   | 15–30                                   | 1.5  |
| 10–15  | 2.5   | 30–45                                   | 2.5  |
| 15–20  | 3.5   | 45–60                                   | 3.5  |

Where:

- $TRC_k$  total road construction cost for road candidate  $k$  (\$)
- $e$  total number of links for road  $k$
- $RC_i$  construction cost of  $i$ th link calculated using Eq. 5 (Contreras and Chung 2007):

$$RC_i = LD_i \times RC \times LS_i \times SS_i \quad (5)$$

Where:

- $LD_i$  length of the link (m)
- $RC$  unit cost of road construction (\$ m<sup>-1</sup>) assumed to be 16.22 \$ m<sup>-1</sup> in this study
- $LS_i$  longitudinal road gradient factor and  $SS_i$  is side slope factor (Table 1).

The road gradient must be less than 12%.

## 2.4 Optimization by graph analysis

### Optimizacija grafičkom analizom

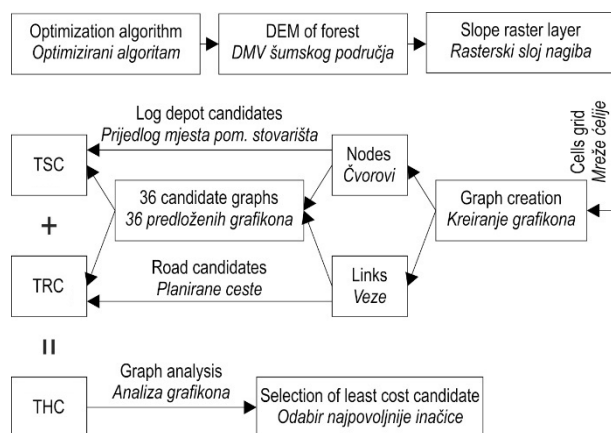
Total Harvesting Cost (THC) for candidate depot and road  $k$  was calculated using Eq. 6 and finally the least-cost variant was selected as the optimal depot and road location in the harvesting unit. Fig. 3 shows the procedure used to find the least-cost route from depots to the existing road in a flow chart.

## 3. Results – Rezultati

### 3.1 Total skidding cost for candidate depots

#### Ukupni troškovi privlačenja do predloženih mjesta pomoćnih stovarišta

Different distribution of marked trees in a harvesting unit has large effects on log depot location. In this study, two terminals have been located as log depots 9 and 10. Links and nodes were routed in zigzag shape



**Fig. 3** Diagram of the optimization algorithm used in the present study

**Slika 3.** Dijagram optimiziranoga algoritma uporabljena u istraživanju

to access terminal depots without considering curve design. Indeed, all links were assumed to be straight lines. The total skidding cost for a depot is limited by the overall time spent for a skidding cycle and the number of trips for skidding all timber. The skidding cycle time depends on log size, number of logs, winching and skidding distances. The influence of variables is not the same. Skidding cost in lower slope is less than that of higher side slope. Therefore, log depot location was shifted to lower slopes. Total skidding cost at four harvesting units in depots 1, 5, 7 and 9 were 72.80 \$, 92.60 \$, 65.75 \$ and 29.23 \$. These are the optimal log depot locations without considering road construction cost. Table 2 shows the skidding param-

eters of candidate log depots for locating the least-cost depot. Total skidding cost is less for a log depot having more marked trees in the related cell. So, if the number of marked trees in the vicinity of the depot is higher and the distance to the depot is lower, the total skidding cost of the depot becomes lower.

### 3.2 Total road cost for candidate roads – *Ukupni troškovi predloženih šumskih cesta*

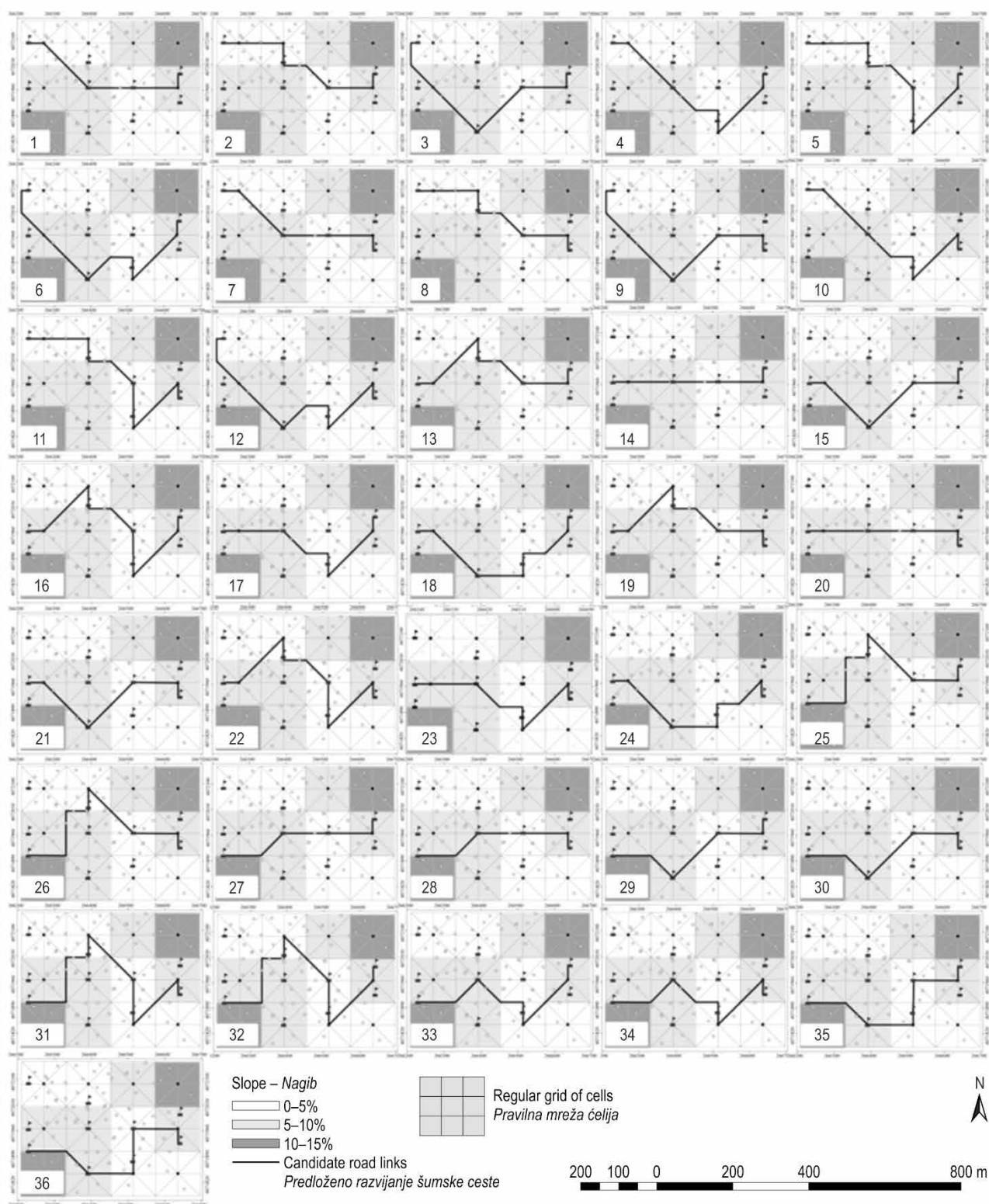
36 access roads were analyzed considering their accessibility to a depot in each harvest units (Fig. 4). Each road was evaluated by calculating the construction cost of links that make a road. The present investigation takes account of the varying road construction cost over different kinds of terrain slope. Road cost depends on the length of links, longitudinal gradient of links, side slope of terrain and unit cost of link construction. Results show that, in general, the construction cost of each link increased by increasing the link length, side slope gradient and longitudinal gradient. Therefore, the construction cost of candidate roads 6, 12, 31 and 32 is higher than the cost of other candidate roads. These cases consider a road construction cost of 16,139\$, 16,187\$, 16,686\$ and 16,637\$, respectively. In addition, the construction cost of candidate roads 2, 8, 14 and 20 are the lowest (Table 3). These cases consider a road construction of 9435\$, 9483\$, 9848\$ and 9896\$, respectively. As shown in Table 2 and Table 3, total harvesting cost is relatively insensitive to skidding costs of depots in the study area. As the log depots are only located on slopes less than 15%, the number of candidate depots for a given harvesting unit varies. As the

**Table 2** Values of skidding time ( $CT_i$ ), number of skidding turns ( $N_i$ ) and skidding cost from each cells to candidate depots ( $SC_i$ ) as well as the total skidding cost for candidate depots in harvesting units ( $TSC_i$ )

**Tablica 2.** Vrijednosti vremena privlačenja ( $CT_i$ ), broj turnusa privlačenja ( $N_i$ ) i troškovi privlačenja od svake ćelije do predložena mjesta pomoćnih stovarišta ( $SC_i$ ) te ukupni troškovi privlačenja za predložena mjesta pomoćnih stovarišta u sječini ( $TSC_i$ )

| Skidding cycle time<br>Vrijeme turnusa privlačenja | Candidate depots – Predložena mjesta pomoćnih stovarišta |       |       |       |       |        |       |       |       |       |
|--|--|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
|  | 1  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6      | 7     | 8     | 9     | 10    |
| $CT_1$ , min                                       | 9.35   | 12.15 | 13.51 | 10.36 | 12.18 | 14.92  | 11.32 | 13.16 | 10.54 | 12.40 |
| $CT_2$ , min                                       | 11.58  | 8.86  | 10.22 | 8.92  | 7.10  | 9.84   | 9.02  | 10.86 | 8.32  | 8.38  |
| $CT_3$ , min                                       | 15.26  | 12.54 | 11.20 | 14.09 | 12.25 | 9.52   | 10.11 | 8.27  | 12.07 | 10.20 |
| $N_1$  | 12.00  | 12.00 | 12.00 | 12.00 | 12.00 | 12.00  | 7.00  | 7.00  | 3.00  | 3.00  |
| $N_2$  | 5.00   | 5.00  | 5.00  | 7.00  | 7.00  | 7.00   | 11.00 | 11.00 | 3.00  | 3.00  |
| $N_3$  | 4.00   | 4.00  | 4.00  | 8.00  | 8.00  | 8.00   | 3.00  | 3.00  | 3.00  | 3.00  |
| $SC_1$ , \$  | 35.34  | 45.92 | 51.09 | 39.18 | 46.05 | 56.40  | 24.95 | 29.02 | 9.96  | 11.72 |
| $SC_2$ , \$  | 18.24  | 13.95 | 16.10 | 19.67 | 15.66 | 21.70  | 31.24 | 37.64 | 7.86  | 7.92  |
| $SC_3$ , \$  | 19.22  | 15.79 | 14.11 | 35.51 | 30.88 | 23.99  | 9.56  | 7.81  | 11.40 | 9.64  |
| $TSC_k$ , \$                                       | 72.80  | 75.67 | 81.30 | 94.36 | 92.60 | 102.09 | 65.75 | 74.48 | 29.23 | 29.27 |





**Fig. 4** Different road network candidates developed by connecting log depots in harvesting units. Shaded grid cells represent different slope percentages (0–5%, 5–10% and 10–15%)

**Slika 4.** Predloženo razvijanje šumske ceste dobivene povezivanjem mjesta pomoćnih stovarišta u sječinama; tamnije ćelije predstavljaju različite nagibe terena u postocima (0–5 %, 5–10 %, 10–15 %)

depot spacing increases, fewer depots are present, and therefore the supplementary network (skid trail) length increases. As the log depots spacing increases, roads are able to avoid steep slope and the average longitudinal gradient is improved.

### 3.3 Total harvesting cost for candidate depots and roads – *Ukupni troškovi privlačenja pri predloženim šumskim cestama i mjestima pomoćnih stovarišta*

In this study, the total area of the selected harvesting units is 18 ha with a mean volume of 350 m<sup>3</sup> logs. Some areas within the harvesting unit with the slope of more than 10% have not been taken into consideration for locating log depots. In addition, the road gradient must be less than 9% for safe truck driving according to the standard limit value. If the gradient is higher than 9%, the link becomes unacceptable for

road construction. The mean road gradient of optimal road is 4% or 5% less than the road gradient limit. Total harvesting cost is computed by adding total skidding cost to road construction cost. An optimal road candidate is the variant with the least total harvesting cost. So, road candidate 2 was chosen as the optimal variant (Table 4). Fig. 5 presents the optimal graph of road network as the least-cost candidate road. The weights of links in the network are determined according to construction cost. The lower the cost, the greater the chance that link will get routed. The total skidding cost of depots and construction cost of optimal road are 262.14\$ and 17.73\$ m<sup>-1</sup>, respectively. Total length and total harvesting cost of the optimal graph are 532 m and 9697.14\$, respectively. The analysis shows that the algorithm is feasible in selecting the optimal road according to the depots variable and construction cost.

**Table 3** Construction cost of links and total road construction cost attributes of 36 candidate roads examined in this research

**Tablica 3.** Troškovi izgradnje veza i ukupni troškovi izgradnje za 36 predloženih inačica šumskih cesta ispitanih u ovom istraživanju

| Link – Veza        | \$     | Link – Veza        | \$     | Link – Veza        | \$     | Link – Veza        | \$     | Link – Veza        | \$     | Link – Veza        | \$     |
|--------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|--------|
| RC <sub>1-5</sub>  | 4157   | RC <sub>1-4</sub>  | 3339   | RC <sub>1-6</sub>  | 7605   | RC <sub>1-5</sub>  | 4157   | RC <sub>1-4</sub>  | 3339   | RC <sub>1-6</sub>  | 7605   |
| RC <sub>5-7</sub>  | 2475   | RC <sub>4-7</sub>  | 2671   | RC <sub>6-7</sub>  | 3500   | RC <sub>5-8</sub>  | 3403   | RC <sub>4-8</sub>  | 3975   | RC <sub>6-8</sub>  | 3406   |
| RC <sub>7-9</sub>  | 3425   | RC <sub>7-9</sub>  | 3425   | RC <sub>7-9</sub>  | 3425   | RC <sub>8-9</sub>  | 5128   | RC <sub>8-9</sub>  | 5128   | RC <sub>8-9</sub>  | 5128   |
| TRC <sub>1</sub>   | 10,057 | TRC <sub>2</sub>   | 9435   | TRC <sub>3</sub>   | 14,530 | TRC <sub>4</sub>   | 12,688 | TRC <sub>5</sub>   | 12,442 | TRC <sub>6</sub>   | 16,139 |
| RC <sub>1-5</sub>  | 4157   | RC <sub>1-4</sub>  | 3339   | RC <sub>1-6</sub>  | 7605   | RC <sub>1-5</sub>  | 4157   | RC <sub>1-4</sub>  | 3339   | RC <sub>1-6</sub>  | 7605   |
| RC <sub>5-7</sub>  | 2475   | RC <sub>4-7</sub>  | 2671   | RC <sub>6-7</sub>  | 3500   | RC <sub>5-8</sub>  | 3403   | RC <sub>4-8</sub>  | 3975   | RC <sub>6-8</sub>  | 3406   |
| RC <sub>7-10</sub> | 3473   | RC <sub>7-10</sub> | 3473   | RC <sub>7-10</sub> | 3473   | RC <sub>8-10</sub> | 5176   | RC <sub>8-10</sub> | 5176   | RC <sub>8-10</sub> | 5176   |
| TRC <sub>7</sub>   | 10,105 | TRC <sub>8</sub>   | 9483   | TRC <sub>9</sub>   | 14,578 | TRC <sub>10</sub>  | 12,736 | TRC <sub>11</sub>  | 12,490 | TRC <sub>12</sub>  | 16,187 |
| RC <sub>2-4</sub>  | 5184   | RC <sub>2-5</sub>  | 3948   | RC <sub>2-6</sub>  | 5178   | RC <sub>2-4</sub>  | 5184   | RC <sub>2-5</sub>  | 3948   | RC <sub>2-6</sub>  | 5178   |
| RC <sub>4-7</sub>  | 2671   | RC <sub>5-7</sub>  | 2475   | RC <sub>6-7</sub>  | 3500   | RC <sub>4-8</sub>  | 3975   | RC <sub>5-8</sub>  | 3403   | RC <sub>6-8</sub>  | 3154   |
| RC <sub>7-9</sub>  | 3425   | RC <sub>7-9</sub>  | 3425   | RC <sub>7-9</sub>  | 3425   | RC <sub>8-9</sub>  | 5128   | RC <sub>8-9</sub>  | 5128   | RC <sub>8-9</sub>  | 4357   |
| TRC <sub>13</sub>  | 11,280 | TRC <sub>14</sub>  | 9848   | TRC <sub>15</sub>  | 12,103 | TRC <sub>16</sub>  | 14,287 | TRC <sub>17</sub>  | 12,479 | TRC <sub>18</sub>  | 12,689 |
| RC <sub>2-4</sub>  | 5184   | RC <sub>2-5</sub>  | 3948   | RC <sub>2-6</sub>  | 5178   | RC <sub>2-4</sub>  | 5184   | RC <sub>2-5</sub>  | 3948   | RC <sub>2-6</sub>  | 5178   |
| RC <sub>4-7</sub>  | 2671   | RC <sub>5-7</sub>  | 2475   | RC <sub>6-7</sub>  | 3500   | RC <sub>4-8</sub>  | 3975   | RC <sub>5-8</sub>  | 3403   | RC <sub>6-8</sub>  | 3154   |
| RC <sub>7-10</sub> | 3473   | RC <sub>7-10</sub> | 3473   | RC <sub>7-10</sub> | 3473   | RC <sub>8-10</sub> | 5176   | RC <sub>8-10</sub> | 5176   | RC <sub>8-10</sub> | 4405   |
| TRC <sub>19</sub>  | 11,328 | TRC <sub>20</sub>  | 9896   | TRC <sub>21</sub>  | 12,151 | TRC <sub>22</sub>  | 14,335 | TRC <sub>23</sub>  | 12,527 | TRC <sub>24</sub>  | 12,737 |
| RC <sub>3-4</sub>  | 6707   | RC <sub>3-4</sub>  | 6707   | RC <sub>3-5</sub>  | 4564   | RC <sub>3-5</sub>  | 4564   | RC <sub>3-6</sub>  | 4567   | RC <sub>3-6</sub>  | 4567   |
| RC <sub>4-7</sub>  | 3498   | RC <sub>4-7</sub>  | 3498   | RC <sub>5-7</sub>  | 2475   | RC <sub>5-7</sub>  | 2475   | RC <sub>6-7</sub>  | 3500   | RC <sub>6-7</sub>  | 3500   |
| RC <sub>7-9</sub>  | 3425   | RC <sub>7-10</sub> | 3473   | RC <sub>7-9</sub>  | 3425   | RC <sub>7-10</sub> | 3473   | RC <sub>7-9</sub>  | 3425   | RC <sub>7-10</sub> | 3473   |
| TRC <sub>25</sub>  | 13,630 | TRC <sub>26</sub>  | 13,678 | TRC <sub>27</sub>  | 10,464 | TRC <sub>28</sub>  | 10,512 | TRC <sub>29</sub>  | 11,492 | TRC <sub>30</sub>  | 11,540 |
| RC <sub>3-4</sub>  | 6707   | RC <sub>3-4</sub>  | 6707   | RC <sub>3-5</sub>  | 4564   | RC <sub>3-5</sub>  | 4564   | RC <sub>3-6</sub>  | 4567   | RC <sub>3-6</sub>  | 4567   |
| RC <sub>4-8</sub>  | 4802   | RC <sub>4-8</sub>  | 4802   | RC <sub>5-8</sub>  | 3403   | RC <sub>5-8</sub>  | 3403   | RC <sub>6-7</sub>  | 4458   | RC <sub>6-7</sub>  | 4458   |
| RC <sub>8-10</sub> | 5176   | RC <sub>8-9</sub>  | 5128   | RC <sub>8-9</sub>  | 5128   | RC <sub>8-10</sub> | 5176   | RC <sub>7-9</sub>  | 3425   | RC <sub>7-10</sub> | 3473   |
| TRC <sub>31</sub>  | 16,686 | TRC <sub>32</sub>  | 16,637 | TRC <sub>33</sub>  | 13,095 | TRC <sub>34</sub>  | 13,143 | TRC <sub>35</sub>  | 12,450 | TRC <sub>306</sub> | 12,498 |

**Table 4** Total harvesting cost ( $THC_k$ ) used for analysis of 36 candidate roads**Tablica 4.** Ukupni troškovi privlačenja ( $THC_k$ ) u analizi 36 predloženih inačica šumskih cesta

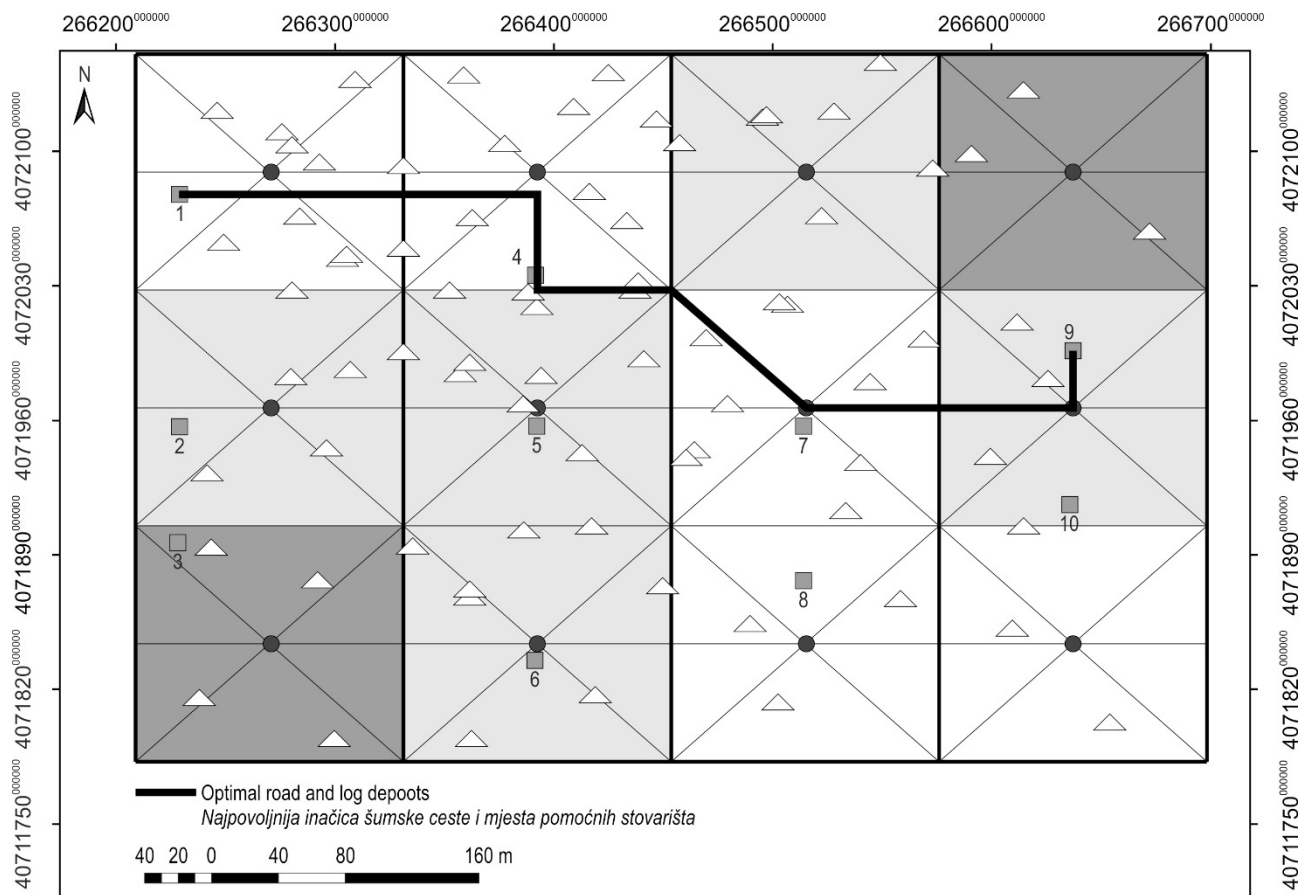
| $THC_k$    | \$        | $THC_k$    | \$        | $THC_k$    | \$        |
|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
| $THC_1$    | 10,317.38 | $THC_{13}$ | 11,545.01 | $THC_{25}$ | 13,900.64 |
| $THC_2$    | 9697.14   | $THC_{14}$ | 10,111.25 | $THC_{26}$ | 13,948.68 |
| $THC_3$    | 14,799.87 | $THC_{15}$ | 12,375.74 | $THC_{27}$ | 10,732.88 |
| $THC_4$    | 12,957.11 | $THC_{16}$ | 14,560.74 | $THC_{28}$ | 10,780.92 |
| $THC_5$    | 12,712.87 | $THC_{17}$ | 12,750.98 | $THC_{29}$ | 11,770.37 |
| $THC_6$    | 16,417.60 | $THC_{18}$ | 12,970.47 | $THC_{30}$ | 11,818.41 |
| $THC_7$    | 10,365.42 | $THC_{19}$ | 11,593.05 | $THC_{31}$ | 16,964.37 |
| $THC_8$    | 9745.18   | $THC_{20}$ | 10,159.29 | $THC_{32}$ | 16,916.41 |
| $THC_9$    | 14,847.91 | $THC_{21}$ | 12,423.78 | $THC_{33}$ | 13,372.61 |
| $THC_{10}$ | 13,005.15 | $THC_{22}$ | 14,608.78 | $THC_{34}$ | 13,420.65 |
| $THC_{11}$ | 12,760.91 | $THC_{23}$ | 12,799.02 | $THC_{35}$ | 12,728.37 |
| $THC_{12}$ | 16,465.64 | $THC_{24}$ | 13,018.51 | $THC_{36}$ | 12,776.41 |

#### 4. Discussion – Rasprava

This study fills a knowledge gap in the application of computer road design in Iranian forestry and shows how weighted-graph algorithm can support decision makers in locating log depots and road network. Minimization of total costs of skidding and road construction was the traditional method to determine the optimal forest road density in a forest area (You et al. 2003, Chung et al. 2004, Žak and Węgliński 2014). This method is very similar to weighted-graph algorithm used in the present study. Ghaffarian and Sobhani (2007) calculated the optimum road density by minimizing the sum of road construction and skidding costs. In another study, they developed a skidding model by stepwise regression to predict the cost of skidding per cubic meter for 39 nodes. The harvesting volume and road construction cost for each node were computed by using NETWORK 2000 and shortest path algorithm (Ghaffarian and Sobhani 2008). In this study, we used 12 nodes and 96 links to produce a graph for the optimization algorithm. The total skidding cost for a node decreased by decreasing the overall time spent for a skidding cycle and the number of trips for skidding all timber. Moreover, road cost increased with increasing length of links, longitudinal gradient of links, terrain slope and unit cost of link construction. Ghaffarian et al. (2010) used the same cost for yarding and road segment per node and links. Rees (2004) calculated the least-cost paths by applying Dijkstra's algorithm on a Digital Elevation Model. In this study, the total road construction cost was considered plus total skidding

cost, as this factor was considered more important than other factors within the region.

A very big graph or network in the present algorithm is inefficient since a lot of calculations need to be repeated (Yongtaek and Hyunmyung 2005, Olsson 2007). In our study, links and nodes were routed in zigzag shape to access terminal depots without considering curve design. Therefore, it is necessary to develop a graph with the curvature design as used by Stückelberger et al. (2007). In this study, a weighted-graph algorithm consisting of nodes (depots) and links (roads) was used to optimize the haul network in the forest. Well-designed or optimal road network is a graph that includes the least-cost roads and skidding. The lower the cost, the greater is the chance that the link will get routed. Stückelberger et al. (2007) found that by considering various link patterns, road design elements and constraints, a designer can select cost-effective locations for road network in steep terrain on mountainous project areas. Liu and Sessions (1993) used an algorithm to find the least-cost road links by considering construction, maintenance and transport costs and various topographic conditions. Dahlin and Sallnas (1992) found the optimum road location by minimization of road transportation cost and road construction cost. They used a simulated annealing (SA) algorithm to optimize the road location. Locating roads within steep terrain can only be done if high node densities (30 nodes  $ha^{-1}$ ) are used and obstacles are considered. In gentler terrain, node density can be reduced. Raster layers consist of a grid support accurate analysis of a graph (Dahlin and Sallnas 1992). Among 532 m of



**Fig. 5** Least-cost road selected as optimal variant in weighted-graph algorithm

**Slika 5.** Inačica šumske ceste s najmanjim troškovima odabrana kao optimalna varijanta dobivena ponderiranim grafičkim algoritmom

roads optimized by the weighted-graph algorithm in the study area, 432 m of roads were located within the slope terrain of 0–5% and 100 m within 5–10%. Our findings show that the optimization algorithm provides equal distribution of roads over the study area using short road length. The algorithm used in this research could provide engineers with good candidate choices for a forest road network plan.

In the present study, a weighted-graph algorithm has been developed to find the least-cost road network and log depots in harvesting units. The advantage of the model is that it can consider a wide range of data including skidding distance, number of logs and skidding turns, winching distance, skidder cost, log length, side slope, road gradient and road length, which may affect the total cost of skidding and road construction. The economic analysis carried out in this paper clearly illustrates the adequacy of application of the methodology used for opening of the forest area. Weighted-graph optimization algorithm requires many input parameters to determine the desired loca-

tion of the road network and log depots. Therefore, other parameters can be added to the model in individual harvest units with their unique physiographic and vegetative conditions. The results of the analysis based on the weighted-graph on raster cells do not provide the understanding of nature, but this approach offers simplicity in implementation. Additional research needs to be done on refining links geometry in order to accurately evaluate longitudinal gradient and vehicle speed and to improve estimates of construction quantities. Moreover, algorithms such as Dijkstra should be integrated in weighted-graphs to produce better networks at lower cost.

## 5. References – Literatura

- Albert, R., Barabási, L., 2002: Statistical mechanics of complex networks. *Reviews of modern Physics* 74(1): 47–97.
- Anderson, A. E., Nelson, J., 2004: Projecting vector based road networks with shortest path algorithm. *Canadian Journal of Forest Research* 34(7): 1444–1457.

- Bin, W., 2012: Forest road network sustainable development indicator system evaluate optimization support vector machine ant colony algorithm. PhD thesis, Central South University of Forestry Science and Technology, Forest Engineering Course, 200 p.
- Contreras, M., Chung, W., 2007: A computer approach to finding an optimal log landing location and analyzing influencing factors for ground-based timber harvesting. *Canadian Journal of Forest Research* 37(2): 276–292.
- Chung, W., Sessions, J., Heinimann, H., 2004: An application of heuristic network algorithm to cable logging layout design. *International Journal Forest Engineering* 15(1): 11–24.
- Dahlin, B., Sallnas, O., 1992: Designing a forest road network using the simulated annealing algorithm. InProc: Computer supported planning of roads and harvesting workshop. Feldafing, Germany. 36–41.
- Epstein, R., Weintraub, A., Sapunar, P., Sessions, J., Sessions, J. B., 1994: PLANEX software for operational planning. International Seminar on Forest Operations under Mountainous Conditions, July 24–27, 1994, Harbin, P.R. of China.
- Galatioto, F., Huang, Y., Parry, T., Bird, R., Bell, M., 2015: Traffic modeling in system boundary expansion of road pavement life cycle assessment. *Transportation Research Part D: Transport and Environ* 36: 65–75.
- Ghaffarian, M. R., Sobhani, H., 2007: Optimization of an existing forest road network using Network 2000. *Croatian Journal of Forest Engineering* 28(2): 185–193.
- Ghaffarian, M.R., Sobhani, H., 2008: Optimum road spacing of ground based skidding operations in Nowshahr, Iran. *Caspian Journal of Environmental Science* 6(2): 105–112.
- Ghaffarian, M. R., Stampfer, K., Sessions, J., Durston, T., Kuehmaier, M., Kanzian, C. H., 2010: Road network optimization using heuristic and linear programming. *Journal of Forest Science* 56(3): 137–145.
- Jaafari, A., Najafi, A., Rezaeian, J., Sattarian, A., Ghajar, I., 2015: Planning road networks in landslide-prone areas: A case study from the northern forests of Iran. *Land Use Policy* 47: 198–208.
- Jourgholami, M., Abdi, E., Chung, W., 2013: Decision making in forest road planning considering both skidding and road costs: a case study in the Hyrcanian Forest in Iran. *iForest* 6(2): 59–64.
- Lee, K., Lee, H., 1998: A new algorithm for graph-theoretic nodal accessibility measurement. *Geographical Analysis* 30(1): 1–14.
- Liu, S., Dong, Y., 2008: Characterizing the hierarchy of road network and its landscape effect with graph theory. The 7th International Symposium on Operations Research and Its Applications (ISORA), Lijiang, China, October 31–November 3, 152–159.
- Liu, K., Sessions, J., 1993: Preliminary planning of road systems using digital terrain models. *International Journal Forest Engineering* 4(2): 27–32.
- Lockwood, C., Moore, T., 1992: Harvest scheduling with spatial constraints: a simulated annealing approach. *Canadian Journal of Forest Research* 23(3): 468–478.
- Lu, F., Eriksson, L. O., 2000: Formation of harvest units with genetic algorithms. *Forest Ecology and Management* 130(1): 57–67.
- Mousavi, R., 2012: Time consumption, productivity, and cost analysis of skidding in the Hyrcanian forest in Iran. *Journal of Forestry Research* 23(4): 691–697.
- Naghdi, R., Mohammadi Limaie, S., 2009: Optimal forest road density based on skidding and road construction costs in Iranian Caspian forests. *Caspian Journal of Environmental Science* 7(2): 79–86.
- Olsson, L., 2007: Optimal upgrading of forest road networks: Scenario analysis vs. stochastic modeling. *Forest Policy and Economics* 9(8): 1071–1078.
- Rees, W. G., 2004: Least-cost paths in mountainous terrain. *Computers & Geosciences* 30(3): 203–209.
- Stefanović, B., Stojnić, D., Danilović, M., 2015: Multi-criteria forest road network planning in fire-prone environment: a case study in Serbia. *Journal of Environmental Planning and Management* 59(5): 911–926.
- Stückelberger, J., Heinimann, H. R., Chung, W., 2007: Improved road network design models with the consideration of various link patterns and road design elements. *Canadian Journal of Forest Research* 37(11): 2281–2298.
- Sole, R. V., Valverde, S., 2004: Information theory of complex networks: On Evolution and Architectural Constraints. *Lecture Notes Physics* 650: 189–207.
- Taiwo, A., Kumi, F., 2013: An appraisal of road condition effect on rural transportation in Sekyer central district of the Ashanti Region of Ghana. *Journal of Transportation Technologies* 3(4): 266–271.
- Tucek, J., 1994: Using the GIS environment for opening-up of forest. International Seminar on Forest Operations under Mountainous Conditions, July 24–27, Harbin, P.R. of China.
- Watanabe, D., 2010: A study on analyzing the grid road network patterns using relative neighborhood graph. The Ninth International Symposium on Operations Research and Its Applications (ISORA), Chengdu–Jiuzhaigou, China, August 19–23, 112–119.
- Yongtaek, L., Hyunmyung, K., 2005: A shortest path algorithm for real road network based on path overlap. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* 6: 1426–1438.
- Yu, C., Lee, J., Munro-Stasiuk, M. J., 2003: Extensions to least-cost path algorithms for roadway planning. *International Journal of Geographical Science* 17(4): 361–376.
- Xie, F., Levinson, D., 2007: Measuring the structure of road networks. *Geographical Analysis* 39(3): 336–356.
- Żak, J., Węgliński, S., 2014: The selection of the logistics center location based on MCDM/A methodology. *Transportation Research Procedia* 3: 555–564.

---

Sadržak

---

*Određivanje najpovoljnijih mjesta pomoćnih stovarišta i najpovoljnijega pružanja šumske ceste ponderiranim grafičkim algoritmom optimizacije*

Održivo i ekonomski isplativo gospodarenje šumskim ekosustavima može se postići isključivo u slučaju uspostave optimalne šumske transportne mreže na terenu pri kojem su troškovi izgradnje i održavanja primarne i sekundarne šumske prometne infrastrukture svedeni na minimum. U ovom istraživanju korišten je ponderirani grafički algoritam koji je pomoću čvorova (prijedlog mjesta pomoćnih stovarišta) i veza (inačica šumske ceste) optimizirao šumski transportni sustav. Vrijednosti svakoga čvora i veze izračunavane su za svih 36 inačica šumskih cesta u istraživanoj sječini. Analizirajući vrijednosti čvorova (mjesta pomoćnih stovarišta) ustanovljeno je kako ukupni troškovi privlačenja variraju u ovisnosti o vrijednostima duljine privitlavanja i privlačenja te o broju privučenih trupaca. Ukupni troškovi privlačenja izračunati za svaki čvor omogućili su određivanje mjesta pomoćnih stovarišta kod kojih su troškovi privlačenja najniži te nadalje određivanje veza koje će poslije služiti pri odlučivanju o optimalnom horizontalnom pružanju šumske ceste. Troškovi vezani uz šumsku cestu ovise o duljini i uzdužnom nagibu veza, poprečnom nagibu terena i jediničnim troškovima izgradnje pojedine veze. Općenito se može reći da troškovi izgradnje svake veze rastu povećanjem duljine veze, poprečnoga nagiba terena i uzdužnoga nagiba. Rezultati ovoga istraživanja pokazuju da su čvorovi i veze konstruirani na padinama blažih nagiba najjeftinije, a ujedno i ekonomski najopravdanije inačice. Rezultati dobiveni ovim istraživanjem uvelike doprinose razumijevanju svih pogodnosti koje, na GIS-u temeljen, ponderirani grafički algoritam pruža pri određivanju optimalnoga šumskoga transportnoga sustava. Ukupni troškovi privlačenja manji su na pomoćnim stovarištima u čijem gravitacijskom području postoji veća doznačena masa odnosno više doznačenih stabala. Dakle, ako je broj doznačenih stabala u blizini mjesta pomoćnih stovarišta veći, a udaljenost do pomoćnoga stovarišta manja, ukupni troškovi privlačenja promatranoga pomoćnoga stovarišta postaju manji.

*Ključne riječi:* ponderirani grafikon, šumska cesta, pomoćno stovarište, minimalni troškovi, optimizacija, GIS

---

Authors' addresses – Adrese autorâ:

Assist. prof. Aidin Parsakhoo, PhD.  
e-mail: Aidinparsakhoo@yahoo.com  
Gorgan University of Agricultural Sciences  
and Natural Resources  
Faculty of Forest Science  
Department of Forestry  
Gorgan, P.O. Box 386  
IRAN

Assoc. prof. Majid Lotfalian, PhD \*  
e-mail: mlotfalian@sanru.ac.ir  
University of Agricultural Sciences  
and Natural Resources of Sari  
Faculty of Natural Resources  
Department of Forestry  
Sari, P.O. Box 737  
IRAN

Corresponding author – Glavni autor \*

Received (Primljeno): February 21, 2017.

Accepted (Prihvaćeno): May 15, 2017.





# Inovacijske nagrade u šumarstvu

Mario Šporčić, Matija Landekić, Mijo Ćosić, Matija Bakarić

## Nacrtak – Abstract

*Inovacija je temelj današnje poslovne prakse i pokretačka snaga suvremene ekonomije. Na razini zajedničke europske politike inovacije se drže glavnim čimbenikom ekonomskoga rasta, konkurentnosti i zapošljavanja, a za mnoge uspješne tvrtke inovacije su ključni čimbenik njihova rasta i razvoja. Važnost je inovacija prepoznata i u šumarstvu te se u mnogim razvijenim zemljama provode razni projekti i akcije vezani uz osnaživanje inovacija u šumarstvu. U ovom se radu predstavljaju dva istaknuta međunarodna programa, odnosno pristupa koji su usmjereni nagrađivanju šumarskih inovacija i koji stoga imaju važnu ulogu u promicanju i poticanju inovacija u šumarstvu. Jedan od tih programa je Schweighoferova nagrada za inovacije u europskom šumarsko-drvnom sektoru. Drugi je medalja za inovacije koju dodjeljuje njemački Centar za šumski rad i tehnologiju (KWF). Prikaz odabranih programa uključuje postupak nominacije i ocjenjivanja inovacija, kategorije inovacija i nagrade te posebno aktualne pobjednike, tj. nagrađene inovacije u šumarstvu. Inovacije se u šumarstvu smatraju instrumentom koji može poboljšati konkurentnost šumarskih proizvoda i usluga, ojačati razvoj šumarstva i drvene industrije te osigurati uspješne odgovore na izazove koji dolaze. Prikazom dvaju priznatih sustava nagrađivanja šumarskih inovacija i primjera uspješnih (nagrađenih) inovacija namjerava se utjecati na razvoj svijesti o važnosti i ulozi inovacija u šumarstvu te u konačnici pridonijeti jačanju inovacija i razvoju inovacijske kulture u šumarskom sektoru.*

*Ključne riječi: inovacije u šumarstvu, inovacijske nagrade, promicanje inovacija*

## 1. Uvod – Introduction

Inovacija općenito označava uspješno uvođenje novosti. Usko je povezana s kreativnošću, no dok je kreativnost sposobnost proizvodnje novih ideja (neovisno o njihovoj eventualnoj primjenjivosti), inovacija uključuje sposobnost transformacije novih ideja u (korisne) proizvode ili usluge (Srića 2003). Inovacija se često poistovjećuje s tehnološkom inovacijom, no moderna inovacijska literatura razlikuje barem dvije vrste inovacija, tj. inovacije proizvoda (promjene u proizvodima tvrtke koji mogu biti dobra ili usluge) i inovacije procesa (tehnološke ili inovacije u organizaciji tvrtke) (Rametsteiner i dr. 2005). Inovacija se u poslovnom smislu često razumijeva kao proces tvrtke, koji uglavnom ima linearan koncept, usmjeren je na razinu tvrtke i odvija se u nekoliko zasebnih faza (Rogers 1995). S druge strane, inovacija se također može opisati kao više iterativan, složen nelinearan fenomen koji obuhvaća širok raspon dionika i različitih interakcija uključenih u modelu inovacijskoga sustava (Rametsteiner i Weiss 2006). Prema stupnju novosti

inovacija može biti »nova za tvrtku« (već prisutna na tržištu, ali je novouvedena u određenu tvrtku), »nova za tržište« (novouvedena na svom tržištu), ili »nova za svijet« (prvi put uvedena za sva tržišta i sve industrije). Može se klasificirati kao radikalna inovacija – ako ima značajan utjecaj na tržište i ekonomsku aktivnost tvrtke na tom tržištu, ili kao inkrementalna (postupna) – ako uključuje značajna poboljšanja postojećih proizvoda (OECD 2005).

Inovacija je složen pojam i kao većinu općih konceptata teško ju je jednoznačno odrediti i dati jednu široko prihvaćenu definiciju. Jedan od prvih važnih izvora u inovacijskoj teoriji Schumpeter (1911) općenito definira inovaciju kao spontano te diskontinuirano pojavljivanje i uvođenje nove kombinacije sredstava za proizvodnju. U ekonomskom smislu Schumpeter inovacijama smatra etabliranje novoga proizvoda, razvoj novoga proizvodnoga procesa, otvaranje i uspostavu novih tržišta i tržišnih struktura, te razvoj novih izvora dobave sirova materijala i drugih proizvodnih resursa. Nelson i Winter (1977) tehnološkom inovacijom smatraju značajne promjene

u proizvodima ili procesima za koje nema prethodnih iskustava. Amabile i dr. (1996) drže da je inovacija uspješna primjena kreativne ideje unutar organizacije. Luecke i Katz (2003) inovaciju vide kao uvođenje novoga proizvoda ili metode, odnosno »utjelovljenje, kombinacija ili sinteza znanja u originalnim, vrijednim i bitnim novim proizvodima, procesima ili uslugama«. Rametsteiner i Weiss (2006) opisuju inovaciju kao namjernu diskontinuiranu promjenu u inputima, procesima i outputima poduzeća.

Prema Oslo priručniku, koji sadrži upute za prikupljanje i interpretaciju podataka o inovacijama (OECD 2015), inovacija je primjena novoga ili znatno poboljšanoga proizvoda (dobra ili usluge) ili procesa, nova marketinška metoda ili nova organizacijska metoda u poslovnim praksama, organizaciji radnoga mjesta ili vanjskim odnosima. Ta opća definicija obuhvaća širok raspon različitih inovacija i definira četiri glavne skupine inovacija: inovacije proizvoda, procesa, marketinške i organizacijske inovacije.

Osnovni je, minimalni uvjet za inovaciju da proizvod, proces, marketinška ili organizacijska metoda moraju biti novi (ili značajno poboljšani) za tvrtku, te da moraju biti implementirani (uvedeni na tržište ili stavljeni u stvarnu primjenu u djelovanju tvrtke). Ostala zajednička obilježja inovacije su sljedeća: inovacija je povezana s rizikom i neizvjesnosti, inovacija uključuje investicije, podložna je prelijevanju i širenju, uključuje primjenu novoga znanja ili novu primjenu, tj. kombinaciju postojećega znanja, usmjerena je na poboljšanje izvedbe tvrtke stjecanjem konkurentne prednosti.

Odnos između inovacije i poslovne uspješnosti razmatra se u mnogim istraživanjima. Ona otkrivaju važnost i snažan utjecaj koji inovacija ima na učinkovitost i rezultat poslovanja (Prajogo 2006, Zaied i dr. 2015, Cuevas-Vargas i dr. 2016, Silva i dr. 2017, Madonsela i dr. 2017). To se ne odnosi samo na visokotehnološke industrije, već se odnosi na sve sektore i djelatnosti, uključujući šumarstvo (Weiss i dr. 2011, Laskova i Posavec 2011, Seeland i dr. 2011, Šporčić i dr. 2012, Jarsky 2015, Kaakkurivaara i dr. 2016, Boston i dr. 2017, Živojinović i dr. 2017). Mnogi radovi također naglašavaju važnost jačanja inovacijskih aktivnosti te potrebu njegovanja i poticanja inovacija (Kubeczko i dr. 2006, Cropley 2009, Steelman 2010, Posavec i dr. 2011, Sarvašova i dr. 2014, Lindroos i dr. 2015, Pezdevšek Malovrh i dr. 2017).

Uzevši u obzir da je važnost inovacija u šumarstvu prepoznata i da postoji potreba za njihovo osnaživanje, u ovom se radu donosi pregled nekih programa i inicijativa koje imaju važnu ulogu u promicanju i poticanju inovacija u šumarstvu. Jedna od takvih inicijativa jest Schweighoferova nagrada za inovacije u europskom

šumarsko-drvnom sektoru. Druga je medalja za inovacije koju dodjeljuje njemački Centar za šumski rad i tehnologiju (*Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik, KWF*). Prikazom tih dvaju priznatih sustava nagrađivanja šumarskih inovacija namjerava se utjecati na razvoj svijesti o važnosti i ulozi inovacija u šumarstvu te u konačnici pridonijeti jačanju inovacija i razvoju inovacijske kulture u šumarskom sektoru.

### 1.1 Značenje i uloga inovacija – *Importance and role of innovation*

Inovacija je temelj današnje poslovne prakse i pokretačka snaga suvremene ekonomije. Ekonomska su istraživanja potvrdila inovacije kao ključni čimbenik ekonomskoga rasta, konkurentnosti i zapošljavanja (Rametsteiner i Weiss 2006). To je učinilo inovacije, kreativnost i inventivnost sve važnijim te nezaobilaznim pitanjem u analizama učinkovitosti i postignuća tvrtki, industrija, regija i nacionalnih gospodarstava.

Važnost je inovacije prepoznata na razini zajedničke politike Europske unije (EU) te je inovacija glavna sastavnica strategije »Europa 2020«, jednako kao i u prethodnoj »Lisabonskoj strategiji« (ekonomska strategija rasta Europske unije). U skladu s tim inovacija je jedan od pet eksplicitnih ciljeva, a kreiranje prijateljskoga okruženja za inovacije (Unija inovacija) jedna od sedam temeljnih inicijativa Europske strategije rasta (EC 2010). Shodno tomu okvirni program EU-a za istraživanja – Obzor 2020 usredotočen je na inovacije, uz ostvarenje i daljnje razvijanje Europskoga istraživačkoga prostora (EC 2011). S naporima koji se ulažu u jačanje inovacijskih aktivnosti EU nastoji ostvariti pametan, održiv i uključiv rast, te osigurati dugoročnu konkurentnost europskoga gospodarstva na svjetskom tržištu. U dostizanju tih ciljeva »trokut znanja« (istraživanje, obrazovanje i inovacija) glavni je čimbenik za njihovo ostvarenje (Ojurović i Grbac 2007).

Na razini poduzeća za mnoge uspješne tvrtke inovacije su ključni čimbenik njihova rasta i razvoja. U složenim uvjetima brojne i oštre konkurencije sve su tvrtke prisiljene ulagati u istraživanja i inovacije ako žele opstati i biti uspješne. U protivnom, ako zapostave inovacije, tvrtke su osuđene na izostanak razvoja, loše poslovne rezultate i postupno propadanje. Takve tvrtke na kraju potisnu okolina i konkurenti koji uspješno inoviraju (Posavec i dr. 2011).

Osnovni razlog zašto tvrtke inoviraju leži u poboljšanju njihove poslovne izvedbe, npr. povećanjem potražnje ili smanjenjem troškova. Djelovanje inovacija na poslovanje tvrtke kreće se od učinaka na prodaju i tržišni udio do promjena u produktivnosti i djelotvornosti. Inovacije također mogu unaprijediti izvedbu poduzeća tako da povećaju njihovu sposobnost inovi-

ranja (OECD 2005). Važni utjecaji na razini nacionalnih gospodarstava i pojedinih gospodarskih grana jesu (pozitivne) promjene u međunarodnoj konkurentnosti i ukupnoj proizvodnosti, prelijevanje znanja iz inovacija u tvrtkama i povećanje ukupne količine znanja u mrežama (Rametsteiner i dr. 2005).

U kontekstu šumarske politike Ministarska konferencija o zaštiti šuma u Europi (*Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe, MCPFE*), još je 2003. godine prihvatila Bečku rezoluciju o »Ekonomskoj održivosti potrajnoga gospodarenja šumama« (*Economic Viability of Sustainable Forest Management*) koja izražava potrebu da se »unaprijedi konkurentnost šumarskoga sektora promicanjem inovacija i poduzetništva među svim relevantnim dionicima«. U rezoluciji iz Madrida 2015. godine »Šumarski sektor u središtu zelene ekonomije« (*Forest sector in the center of Green Economy*) MCPFE ponovno naglašava nužnu obvezu »promicanja inovacija i istraživanja (...) kroz osnaživanje razvoja inovacijske kulture« te »omogućavanje jednako razvoja politike i inovacija za dugoročnu konkurentnost cjelokupnoga šumarskoga sektora« (MCPFE 2015). U novoj strategiji EU-a za šume i sektor koji se temelji na šumama (EC 2013) također se višekratno ističe važnost inovacija u odgovoru šumarstva na izazove i prilike koji se postavljaju pred sektor.

Inovacije se u šumarstvu razvijaju jednako kao i u drugim industrijama radi poboljšanja konkurentnosti šumarskoga poduzeća, nacionalnoga šumarstva ili cjelokupnoga šumarskoga sektora u odnosu na druge igrače na tržištu. Šumarstvo je istodobno, zajedno s priželjkivanim inovacijama u sektoru, izravno uključeno u razvoj ruralnih područja kao jedan od glavnih ciljeva EU-a. Globalni procesi i promjene također neizbježno utječu i na šumarsko-drveni sektor, koji skupa s vlastitim tehnološkim, organizacijskim, proizvodnim, uslužnim, rekreacijskim i drugim inovacijama mora postati konkurentan i profitabilan na globalnoj razini. Pri tome se drži da razvoj šumarstva i drvoprerađivačke industrije, osim rasta i kvantitativne promjene, ponajprije mora doći od kvalitativne promjene u promišljanju i djelovanju (Posavec 2009). Da bi se to ostvarilo, potrebno je integrirati inovacijsku politiku u strategiju razvoja šumarstva koja mora biti koordinirana i s ostalim područjima (Kubecko i dr. 2006, Martinić i dr. 2006).

## 2. Materijal, metode i ciljevi – *Material, methods and aims*

U radu se prikazuju dva koncepta ili programa usmjerena promicanju i nagrađivanju inovacija u

šumarstvu. Odabrani su programi međunarodnoga karaktera. Pozivaju se tvrtke vezane uz šumarstvo da prijave svoja inovativna rješenja i uđu u natjecanje za inovacijsku nagradu. U jednom slučaju organizator je natjecanja austrijska obitelj Schweighofer, tj. zaklada koja dodjeljuje »Inovacijsku nagradu za europski šumarsko-drveni sektor« (*Innovation Award for the European Forest-Based Sector*). Drugi primjer predstavlja »Inovacijska medalja KWF-a« (*KWF Innovation Medal*) te nagrađivanje koje organizira i provodi njemački Centar za šumski rad i tehnologiju (*Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik, KWF*) u sklopu šumarskoga sajma KWF-Expo, kao dijela tradicionalne manifestacije »Dani KWF-a« (*KWF-Tagung*), jedne od najvažnijih priredbi šumarske tehnologije u središnjoj Europi i najvećih šumarskih sajmova na svijetu.

Prikaz navedenih programa uključuje postupak nominacije i ocjenjivanja, kategorije inovacija i nagrade te posebno aktualne pobjednike, tj. nagrađene inovacije. Pregled je napravljen na osnovi dostupnih online izvora, pri čemu su pretražene mrežne stranice navedenih organizacija (Schweighofer i KWF) te povezane stranice nagrađenih tvrtki/inovacija i ostali dostupni online podaci.

Osnovne su zadaće u radu:

- ⇒ opisati glavne značajke Schweighoferove nagrade i medalje KWF-a
- ⇒ prikazati posljednje nagrađene inovacije u šumarstvu
- ⇒ istaknuti mogućnosti za inovacije u hrvatskom šumarstvu.

Cilj je rada upozoriti na važnost razvoja i promicanja inovacija u šumarstvu te tako u šumarskoj struci podići razinu svijesti o značenju i ulozi inovacija. To bi u konačnici trebalo pridonijeti poticanju inovacija i razvoju inovacijske kulture u šumarskom sektoru.

## 3. Rezultati – *Results*

### 3.1 Schweighoferova nagrada – Inovacijska nagrada za europski šumarsko-drveni sektor *Schweighofer Prize – Innovation Award for the European Forest-Based Sector*

Schweighoferova nagrada zove se Inovacijska nagrada za europski šumarsko-drveni sektor. Ustanovljena je 2003. godine i daruje ju austrijska obitelj Schweighofer nagrađujući inovativne ideje, tehnologije, proizvode i usluge radi jačanja konkurentnosti europskoga šumarsko-drvnoga sektora. Nagrada se uručuje svake druge godine i podržana je ukupnim novčanim fondom od 300 000 €.

Schweighoferova nagrada obuhvaća gotovo cijeli niz tema vezanih uz europski šumarsko-drveni lanac, isključivši proizvodnju celuloze i papira. S obzirom na to da nagrada izričito naglašava multidisciplinarnu i blisku suradnju industrije i istraživanja, ne postoji stroga klasifikacija nagrađivanih područja. Ovi primjeri predstavljaju samo općenitu orijentaciju glede obuhvaćenih tema. To su:

- ⇒ inovativni procesi i tehnologije koje povećavaju održivu dostupnost i učinkovitu uporabu šumske biomase
- ⇒ unaprijeđene metode za održivu šumarsku ekonomiku i opskrbu drvom
- ⇒ napredne tehnologije za primarnu preradu drva
- ⇒ inovativne proizvodne metode i tehnologije za proizvode od drva
- ⇒ inovativni drveni proizvodi i sustavna rješenja u području stanovanja i gradnje
- ⇒ nova rješenja u pakiranju i ambalaži uporabom drva
- ⇒ nove mogućnosti uporabe drva i njegovih komponenti (uključujući projektirane drvene proizvode i hibridna rješenja, u kojima je drvo kao ključni element jasno vidljivo)
- ⇒ novi koncepti reciklaže i reciklirani proizvodi od drva
- ⇒ inovativne inicijative međunarodne suradnje koje povećavaju komunikaciju te istraživanje i razvoj u cijelom lancu vrijednosti drva
- ⇒ vodeće mjere obrazovanja i osposobljavanja usmjerene na jačanje europskih kompetencija u drvu i drvnim proizvodima
- ⇒ novi inovacijski sustavi i sredstva podrške te mreže za drvo i drvene proizvode na europskoj razini.

Za Schweighoferovu nagradu mogu se natjecati fizičke osobe, skupine pojedinaca ili organizacije. Poziv za prijave obično je otvoren od studenoga do veljače. Sve prijave moraju biti predane *online*, a svi sudionici moraju ispuniti sadržaj i formu propisanih uvjeta te dokazati povjerenstvu, koje se sastoji od priznatih šumarskih stručnjaka, očitu dobrobit inovacije za europski šumarsko-drveni sektor kao najvažniji zahtjev za nagradu.

Ostale značajke Schweighoferove nagrade uključuju:

- ⇒ inovacijske nagrade dodjeljuju se obećavajućim inovativnim projektima, koji još mogu biti u fazi provedbe
- ⇒ projekti moraju pokazati očiglednu i provjerljivu inovaciju u usporedbi s trenutačno vrhunskom tehnologijom

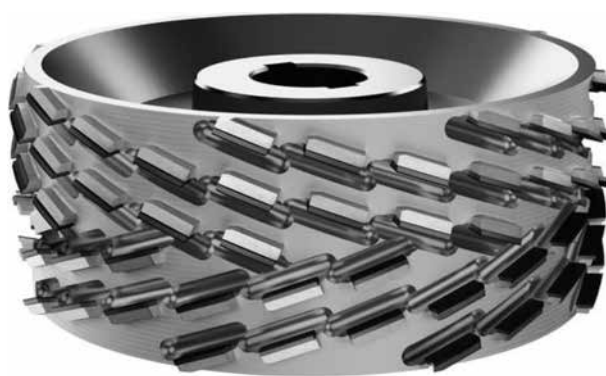
- ⇒ mora se predstaviti realan i strukturiran koncept primjene
- ⇒ uvedena inovacija mora biti prikladna za europsku (industrijsku) primjenu
- ⇒ prijave moraju pripremiti sami kandidati
- ⇒ ukupnu novčanu nagradu od 200 000 € uglavnom dijele od tri do šest dobitnika
- ⇒ glavna se nagrada uručuje osobama koje su u dužem razdoblju ostvarile izvrsna postignuća za europski šumarsko-drveni sektor, i nagrađuje ih se s 100 000 € (izvor: [www.schweighofer-prize.org](http://www.schweighofer-prize.org)).

### 3.1.1 Nagrađene inovacije u 2015. godini;

#### Schweighoferova nagrada – *Awarded innovations in 2015, Schweighofer Prize*

Na posljednjoj dodjeli nagrada, održanoj u Beču 2015. godine, dobitnici Schweighoferove nagrade bili su iz Austrije, Njemačke, Švedske, Italije i Švicarske. Nagrađene su ove inovacije:

- ⇒ **Block gluing** – inovativni proizvodni koncept za izradu srednjica i drugih lijepljenih proizvoda od drva. Lijepljeni kutni blok kod polugotovih proizvoda dimenzijski je stabilan i jednostavan za pohranu te primjenu u sljedećim fazama gradnje, rezultira većom iskorištenošću materi-



**Slika 1.** Inovacija kod Leuco p-System alata za obradu drva (izvor: [www.leuco.com](http://www.leuco.com))

**Fig. 1** Innovation in Leuco p-System tools for wood processing (source: [www.leuco.com](http://www.leuco.com))

jala i značajnim uštedama u proizvodnom procesu; uz pomoć inteligentnoga načina cijepanja mogu se proizvesti različite vrste završnih proizvoda, a svaka dimenzija i dužina lamela mogu se dalje obrađivati. Razvili: Weinig AG, Njemačka (više na: [www.weinig.com](http://www.weinig.com)).

⇒ **p-System** – univerzalni sustav alata s velikim prislonim kutom glavnoga reznoga brida do 70° za tzv. proces »ljuštenja«, čime se postiže iznimno visoka kakvoća obrađene plohe i velika postojanost oštice alata. Time se prevladavaju mnoga tradicionalna ograničenja tipična za obradu drva, produžuje životni vijek alata i omogućuje izvrsna kakvoća rezanja i obrade jednako drvenih panela i masivnoga drva. Taj je tip alata prvotno razvijen radi smanjenja buke tijekom rada, ali je ispitivanjima utvrđeno da takva konstrukcija ne smanjuje bitno buku pri radu, ali je zato dobivena iznimna kakvoća obrade i postojanost alata (slika 1). Razvili: Leuco AG, Njemačka (više na: [www.leuco.com](http://www.leuco.com)).

⇒ **Lindura® by Wood Powder Technology** – visoko inovativan sustav izdržljivih, otpornih i jednostavnih za održavanje drvnih podnih obloga, koje su rezultat spajanja gaznoga sloja od furnira na tvrdu vlaknaticu pomoću drvnoga praha (*Wood Powder*). Inovacija se temelji na tehnologiji drvnoga praha razvijenoj za smanjenje broja postupaka u procesu proizvodnje laminata. Drvo u prahu – materijal od mješavine finih drvnih vlakana i drugih prirodnih sastojaka, uspješno je primijenjeno u proizvodnji drvenoga poda Lindura. Pod utjecajem topline i tlaka drveni se prah topi i tako se spaja gornji sloj furnira na HDF (*High Density Fibreboard*) pločama. Rezultat je visoko otporan drveni pod koji je izdržljiv, trajan i jednostavan za održavanje, a krasi ga jedinstven



**Slika 2.** Inovacija Lindura® by Wood Powder Technology (izvor: [www.meisterwerke.com](http://www.meisterwerke.com))

**Fig. 2** Lindura® by Wood Powder Technology innovation (source: [www.meisterwerke.com](http://www.meisterwerke.com))

i rustikalan izgled (slika 2). Razvili: Vålinge Innovation AB, Švedska & MeisterWerke Schulte GmbH, Njemačka (više na: [www.valinge.se](http://www.valinge.se); [www.meisterwerke.com/en](http://www.meisterwerke.com/en)).

⇒ **X-RAD** – nov, učinkovit sustav spojnice za elemente CLT (*Cross Laminated Timber* – križno lamelirano drvo), gdje svaki panel CLT u svojim kutovima dobiva konektore X-RAD čime se u gradnji osigurava izvanredna smična i vlačna čvrstoća, spajanje otporno na zemljotrese, te brža i sigurnija montaža u izgradnji. Inovacija nudi optimizirano i standardizirano rješenje za izgradnju pomoću građevnih konstrukcija od drva na gradilištu, čime se bitno povećava konkurentnost drva kao građevnoga materijala. Razvili: Rotho Blaas srl & CNR-Ivalsa, Italija (više na: [www.rothoblaas.com](http://www.rothoblaas.com); [www.ivalsa.cnr.it](http://www.ivalsa.cnr.it)).

⇒ **Kuća od prirodnih resursa ETH-a** – četverokatna pilot-kuća s inovativnim građevnim konstruk-



**Slika 3.** X-RAD – inovativna tehnika spajanja elemenata CLT (izvor: [www.rothoblaas.com](http://www.rothoblaas.com))

**Fig. 3** X-RAD – innovative connection technique for CLT-elements (source: [www.rothoblaas.com](http://www.rothoblaas.com))





**Slika 4.** Kuća ETH-a od prirodnih resursa (izvor: [www.honr.ethz.ch](http://www.honr.ethz.ch))

**Fig. 4** ETH House of Natural Resources (source: [www.honr.ethz.ch](http://www.honr.ethz.ch))

cijama od tvrdoga drva, razvijena u suradnji ETH-a Zürich (*Eidgenössische Technische Hochschule, ETH* – Švicarski savezni institut za tehnologiju) s industrijskim partnerima. Inovacija obuhvaća okvir od prednapregnutoga drva, grede od lijepljenoga laminiranoga drva pojačanoga pepelom, stupove građene od drvnoga pepela, drvo-betonske kompozitne ploče na prvom katu i dr. Zgrada istodobno služi kao istraživački laboratorij za održivu gradnju s drvnim proizvodima (slika 4). Razvili: ETH Zürich, Climate-KIC, Häring & CO. AG, Švicarska (više na: [www.honr.ethz.ch](http://www.honr.ethz.ch)).

### 3.2 Inovacijska medalja KWF-a – KWF Innovation Medal

Inovacijsku medalju KWF-a dodjeljuje njemački Centar za šumski rad i tehnologiju (*Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik, KWF*) kao nagradu za najinovativnija šumarska dostignuća i proizvode predstavljene na manifestaciji Dani KWF-a (*KWF-Tagung*). Dani KWF-a najveći su šumarski sajam na svijetu i najvažnije međunarodno okupljanje šumarskoga sektora. Tradicionalno Dani KWF-a imaju tri sastavna dijela priredbe – KWF-Expo (prijašnje izložbe šumskih strojeva i inovacija), stručnih ekskurzija i znanstvenoga skupa. Na izložbenom sajmu KWF-Expo redovito sudjeluje više od 500 domaćih i međunarodnih izlagača iz više od 25 zemalja (sudionici u 2016. godini). Predstavljaju se njihova posljednja dostignuća i najsuvremenije tehnologije iz širokoga šumarskoga i tehnološkoga spektra koji uključuje i informacijsko-komunikacijske tehnologije (ICT), drveni transport, komunalne tehnologije, energetske tehnologije, sigurnost pri radu i dr.

Najinovativnija šumarska rješenja izlagačkih tvrtki i institucija nagrađuju se inovacijskom medaljom KWF-a. Dobitnici nagrada određuju se u dvostupanj-

skom procesu. U prvoj fazi svi zainteresirani izlagači pozvani su da u kratkom i sažetom obliku prijave svoje proizvode te da jasno i uvjerljivo objasne novosti i karakteristične prednosti njihova rješenja. Takve suvise kratke prijave ocjenjuje stručni odbor koji izabire one proizvode koji najviše obećavaju i nominira ih kao potencijalne kandidate za medalju. Podnositelji koji prevladaju ovu prvu zapreku obavještavaju se o njihovoj nominaciji i daje im se prilika da slijedom toga podnesu dodatni detaljni materijal i informacije važne za donošenje odluke o dobitnicima nagrada. Sve nominirane inovacije unose se u službeni listu inovacija, koja se zatim dostavlja strukovnom tisku i objavljuje na mrežnoj stranici KWF-a.

Koji će od nominiranih proizvoda biti pobjednik i primiti prestižnu medalju za inovaciju, odlučuje žiri neutralnih i nezavisnih članova povjerenstva kratko prije ceremonije dodjele nagrada na KWF-Expo. Tijekom predstavljanja pobjednika svi nominirani proizvodi, početno podijeljeni u kategorije, još se jednom u sklopu ceremonije predstavljaju javnosti. Nakon toga objavljuju se pobjednici u svakoj kategoriji.

Inovacijska medalja KWF-a dodjeljuje se u ovim kategorijama:

- ⇒ šumarska oprema
- ⇒ strojevi/alati
- ⇒ IT aplikacije
- ⇒ osobna zaštitna oprema
- ⇒ transport i logistika
- ⇒ dodaci.

Novodizajnirani proizvodi dobivaju inovacijsku medalju KWF-a ako se njihova funkcija značajno izmijenila, te ako njihova primjena omogućuje nove metode ili bitno mijenja i poboljšava poznate metode. Odlučujući čimbenici za selekciju uključuju u prvom redu očekivani utjecaj na veličinu koristi, na poslovanje, zdravlje i sigurnost pri radu, okoliš i energetska situaciju i sl. (izvor: [www.kwf-tagung.org](http://www.kwf-tagung.org)).

### 3.2.1 Nagrađene inovacije u 2016. godini, inovacijska medalja KWF-a – *Awarded innovations in 2016, KWF Innovation Medal*

Na posljednjem, 17. sastanku KWF-a održanom u južnoj Njemačkoj (Roding, 9–12. lipnja 2016), inovacijske medalje KWF-a dodijeljene su osmi put. Između više od 80 prijava nagrađene su ove inovacije.

U kategoriji »Šumarska oprema«, za područje primjene »Ergonomija«:

⇒ **Ponsse Buffalo AF (aktivni okvir)** – trodijelna šasija vozila inovativna za forvardere, s prednjim dijelom ovješanim u slobodno plutajućem obliku i aktivno izravnavajućom bogi osovinom, što omogućuje vodoravan položaj kabine čak i na izrazito strmim terenima. Nagrada je dodijeljena jer je inovacija važan doprinos vozačevoj ergonomiji u tehnologiji privlačenja drva (slika 5). Razvili: Ponsse Oy Finska & Wahlers Forsttechnik GmbH (više na: [www.ponsse.com](http://www.ponsse.com); [www.wahlers-forsttechnik.de](http://www.wahlers-forsttechnik.de)).

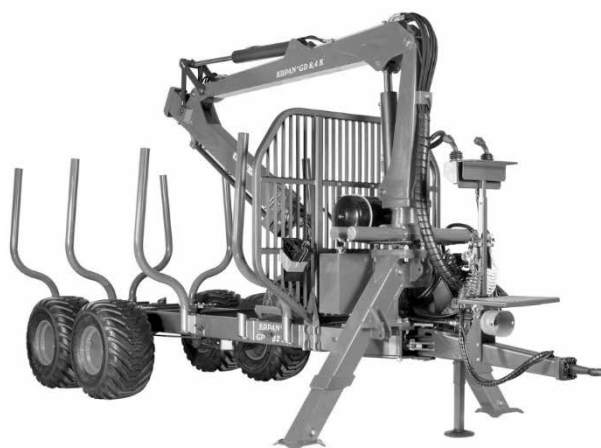
U kategoriji »Šumarska oprema«, za područje primjene »Sječa stabala«:

⇒ **Šumarska prikolica KRPAN GP12 D** – novo-patentirano podvozje s hidrauličnom kontinuirano prilagodljivom bogi osovinom, kojim se upravlja iz vozačeve kabine i koje služi za prilagođavanje okomitoga opterećenja na priključnu vučnu polugu pri radu i prijevozu na javnim prometnicama. To je rješenje inovativan doprinos funkcionalnosti i sigurnosti u pridobivanju drva i uporabi šumskih prikolica (slika 6). Razvili: Pišek-Vitli Krpan Ltd (više na: [www.vitli-krpan.com](http://www.vitli-krpan.com)).



**Slika 5.** Ponsse Buffalo aktivni okvir šasije forvardera (izvor: [www.kwf-tagung.org](http://www.kwf-tagung.org))

**Fig. 5** Ponsse Buffalo Active Frame chassis on forwarder (source: [www.kwf-tagung.org](http://www.kwf-tagung.org))



**Slika 6.** Šumarska prikolica KRPAN GP12 D (izvor: [www.kwf-tagung.org](http://www.kwf-tagung.org))

**Fig. 6** KRPAN GP12 D forestry trailer (source: [www.kwf-tagung.org](http://www.kwf-tagung.org))

U kategoriji »Strojevi/alati«, za područje primjene »Računala i izmjera«:

⇒ **Laserski kalibrator s jednoručnim rukovanjem Nestle LH 50** – omogućuje brzo, beskontaktno određivanje promjera, što pojednostavljuje izmjeru dubelih stabala i oborenoga drva kod primanja izrađenih sortimenata i šumske inventure (slika 7). Razvili: Gottlieb Nestle GmbH & Grube KG (više na: [www.g-nestle.de](http://www.g-nestle.de); [www.grube.de](http://www.grube.de)).

U kategoriji »Osobna zaštitna oprema«, za područje primjene »Sigurnost pri radu/ergonomija«:

⇒ **Zaštitne hlače Stihl HS-Multi-Protect za rezanje živice** – inovativne hlače koje kombiniraju mnoge zaštitne funkcije i koje su izrađene poseb-



**Slika 7.** Laserski kalibrator s jednoručnim rukovanjem Nestle LH 50 (izvor: [www.kwf-tagung.org](http://www.kwf-tagung.org))

**Fig. 7** Nestle LH 50 laser caliper with one-hand operation (source: [www.kwf-tagung.org](http://www.kwf-tagung.org))

no za vrtlarenje i uređenje okoliša. Nova zaštita noge i koljena štiti korisnikova bedra i koljena od ozljeda uzrokovanih uštibanjem i rezanjem pri radu trimmerom za živice. Otklanjanjem te opasnosti inteligentno se povećava raspon primjena zaštitnih hlača u području izgradnje i uređivanja vrtova i krajobraza (slika 8). Razvili: Stihl AG & Co.KG (više na: [www.stihl.de](http://www.stihl.de)).

U kategoriji »Dodaci«, za područje primjene »Sigurnost pri radu«:

⇒ **Sigurnosni sustav D2-Forest** – certificiran, lako prilagodljiv sustav, posebno razvijen za kom-



**Slika 8.** Zaštitne hlače Stihl HS-Multi-Protect za rezanje živice (izvor: [www.kwf-tagung.org](http://www.kwf-tagung.org))

**Fig. 8** Stihl HS-Multi-Protect hedge trimmer protective trousers (source: [www.kwf-tagung.org](http://www.kwf-tagung.org))



**Slika 9.** Inovacija sigurnosni sustav D2-Forest (izvor: [www.kwf-tagung.org](http://www.kwf-tagung.org))

**Fig. 9** D2-Forest safety system innovation (source: [www.kwf-tagung.org](http://www.kwf-tagung.org))

binirane postupke u pridobivanju drva kojim se smanjuju rizici za osobe u neposrednoj blizini utjecaja šumarske opreme. Inovacija je važan doprinos sigurnosti na radu (slika 9). Razvili: Wahlers Forsttechnik GmbH (više na: [www.wahlers-forsttechnik.de](http://www.wahlers-forsttechnik.de)).

U kategoriji »Dodaci«, za područje primjene »Maziva«:

⇒ **Kajo-Bio Longlife mast LZR 2** – brzo biorazgradiva mast za podmazivanje koja je prikladna za sve šumarske strojeve i koja se sastoji od 83 %



**Slika 10.** Nagradena Kajo-Bio Longlife mast LZR 2 (izvor: [www.kwf-tagung.org](http://www.kwf-tagung.org))

**Fig. 10** Awarded Kajo-Bio Longlife Grease LZR 2 (source: [www.kwf-tagung.org](http://www.kwf-tagung.org))



**Slika 11.** Konceptni automobil Biofore na izložbi KWF-Expo (izvor: [www.kwf-tagung.org](http://www.kwf-tagung.org))

**Fig. 11** Biofore Concept Car at KWF-Expo (source: [www.kwf-tagung.org](http://www.kwf-tagung.org))

obnovljiva sirova materijala. Prvo mazivo koje je nagrađeno njemačkim »Plavim anđelom« i ekooznakom i koje je inovativni doprinos zaštiti okoliša i očuvanju prirodnih resursa (slika 10). Razvili: Kajo-Schmierstoff-Technik GmbH (više na: [www.kajo.de](http://www.kajo.de)).

Dodatno, »KWF-Vision« nagrade za mišljenje okrenuto budućnosti dodijeljene su za:

- ⇒ **Konceptni automobil Biofore** – primjer inovativne uporabe drva kao sirovine, karakteriziran pionirskim razvojnim radom nastalim u suradnji finske tvrtke UPM (*United Paper Mills Ltd.*) Biofore i Helsinškoga sveučilišta Metropolia te raznih drugih partnera (slika 11). Razvili: UPM & the Helsinki Metropolia University of Applied Sciences (više na: [www.upm.com](http://www.upm.com)).
- ⇒ **HiVisionTM** – inovativni oblik upravljanja dizalicom pomoću novih, 3D tehnologija temeljenih na kameri pruža poboljšanu funkcionalnost, ergonomiju i sigurnost. Pionirska ideja u rukovanju dizalicom omogućuje iznimnu sigurnost i udobnost u šumarstvu, zajedno s preciznim kontrolnim sustavom i odličnom vidljivosti (slika 12). Razvili: Hiab - Cargotec GmbH (više na: [www.cargotec.com](http://www.cargotec.com)).

#### 4. Rasprava i zaključci – Discussion and conclusion

Inovacija je temelj uspješne poslovne prakse i pokretačka snaga današnje ekonomije. Na razini zajedničke europske politike inovacija (sastavni element strategije »Europa 2020«) prepoznata je kao kru-



**Slika 12.** Inovacija HiVisionTM u upravljanju šumarskom dizalicom (izvor: [www.kwf-tagung.org](http://www.kwf-tagung.org))

**Fig. 12** HiVisionTM innovation in crane control (source: [www.kwf-tagung.org](http://www.kwf-tagung.org))

cijalno sredstvo za kreiranje gospodarskoga rasta i zaposlenosti te jačanja razvoja ruralnih područja. Za mnoge napredne tvrtke inovacije su ključni čimbenik njihova rasta i razvoja.

Važnost i uloga inovacija prepoznati su i u šumarstvu, te se u mnogim razvijenim zemljama provode različiti projekti i aktivnosti vezani uz jačanje inovativnih šumarskih potencijala. Šumarstvo je danas, s obzirom na višestruke ekonomske, društvene i ekološke funkcije, kao i osjetljivost gospodarenja šumskim ekosustavima, izloženo brojnim zahtjevima, pritiscima i izazovima. Odgovor na te izazove sigurno djelomice može doći od inovacija, njihova razvoja, primjene i poticanja. Inovacije u šumarstvu, jednako kao i u ostalim poslovnim sustavima, mogu biti značajan poticaj proizvodnji i poslovanju, te snažan doprinos konkurentnosti i uspjehu šumarskih tvrtki i šumarskoga sektora.

Za jačanje inovacija u šumarstvu posebno su važni programi i inicijative usmjereni na promicanje i priznavanje postignutih inovacija. Takve koncepte predstavljaju »Schweighoferova nagrada« i »Inovacijska medalja KWF-a« koji kontinuirano odaju priznanje i nagrađuju najinovativnija šumarska postignuća, ideje, tehnologije, proizvode i usluge. Tako ti programi uvelike pridonose poticanju inovacijskih aktivnosti u šumarstvu i podižu svijest javnosti i struke o inovacijama.

Projekti poput »Schweighoferove nagrade« i »Inovacijske medalje KWF-a« za šumarski su sektor još važniji nego slične inicijative u drugim industrijama. Naime, šumarstvo je kao niskotehnološki sektor tradicionalno karakterizirano niskom razinom inovacija (Rametsteiner i dr. 2005). Dosadašnja istraživanja u

hrvatskom šumarstvu također su utvrdila relativno nepovoljan status inovacija u državnom šumarskom poduzeću (Šporčić i dr. 2014). Niska inovacijska kultura tako se odražava u rijetkim inovacijama, nedostatku poticaja, birokratskim preprekama, neučinkovitu sustavu za vrednovanje ideja te lošoj percepciji učinaka inovacija na prihode tvrtke.

Poticanje kreativnosti i inovacija počiva u prvom redu na inovativnoj kulturi tvrtke ili sektora, koja obuhvaća uspješno upravljanje ljudskim potencijalima i klimu pozitivne motivacije gdje se zaposlenici osjećaju slobodnima »pokušati i ne uspjati«, gdje se ohrabruju na inovativno razmišljanje i projekte, a potom nagrađuju odgovarajućim nagradama za njihov doprinos. Istodobno su uz to potrebne i odgovarajuće organizacijske prilagodbe koje će umanjiti birokratske i druge prepreke koje uvelike otežavaju put od ideja do realizacije inovacija.

Za takvo usmjerenje ključno je investirati u obrazovanje, infrastrukturu i istraživanje. Državne i poslovne politike pritom imaju važnu ulogu u poticanju svih relevantnih dionika na inovacije. Prioriteti strateškoga pristupa promicanju inovacija trebaju biti: osnaživanje ljudi za inovacije, oslobađanje inovacija u tvrtkama, stvaranje i uporaba znanja, primjena inovacija u rješavanju globalnih i društvenih izazova te poboljšanje upravljanja inovacijama.

Konačno, razvoj inovacija smatra se polugom koja može pružiti višestruke koristi šumarstvu, unaprijediti proizvodnju i poslovanje te osigurati održiv razvitak šumarskoga sektora. Rezultati takvih i sličnih istraživanja pritom mogu činiti objektivna polazišta i podloge u kreiranju strategija za unapređenje upravljačkih i poslovnih praksi u šumarstvu te u poticanju inovacijskih aktivnosti šumarskoga sektora.

## 5. Literatura – References

Amabile, T. M., R. Conti, H. Coon, J. Lazenby, M. Herron, 1996: Assessing the work environment for creativity. *Academy of Management Journal*, 39(5): 1154–1184.

Boston, K., B. Leshchinsky, E. Kemp, R. Wortman, 2017: The use of a rotary asphalt broom to groom aggregate forest roads. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 38(1): 119–126.

Cropley, D. H., 2009: Fostering and measuring creativity and innovation: individuals, organisations and products. In: *Measuring creativity, Proceedings for the conference »Can creativity be measured?«* (ed. E. Villalba). Brussels, 28–29 May, 257–278 p.

Cuevas-Vargas, H., S. Estrada, E. Larios-Gómez, 2016: The effects of ICTs as innovation facilitators for a Greater business performance – evidence from Mexico. *Procedia Computer Science*, 91: 47–56.

European Commission (EC), 2010: Europe 2020 strategy. Available at: [http://ec.europa.eu/europe2020/documents/related-document-type/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/europe2020/documents/related-document-type/index_en.htm)

European Commission (EC), 2011: Horizon 2020 – The EU Framework Programme for Research and Innovation. Available at: <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en>

European Commission (EC), 2013: EU Forest Strategy. Available at: [https://ec.europa.eu/agriculture/forest/strategy\\_en](https://ec.europa.eu/agriculture/forest/strategy_en)

Jarský, V., 2015: Analysis of the sectoral innovation system for forestry of the Czech Republic. Does it even exist? *Forest Policy and Economics*, 59: 56–65.

Kaakkurivaara, T., P. Kolisoja, J. Uusitalo, N. Vuorimies, 2016: Fly ash in forest road rehabilitation. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 37(1): 119–130.

Kubeczko, K., E. Rametsteiner, G. Weiss, 2006: The role of sectoral and regional innovation systems in supporting innovations in forestry. *Forest Policy and Economics*, 8(7): 704–715.

Laskova, J., S. Posavec, 2011: Forest management in Croatia focusing on innovation. *Lesn. Čas. – Forestry Journal*, 57(2): 134–142.

Lindroos, O., O. Ringdahl, P. La Hera, P. Hohnloser, T. Hellström, 2015: Estimating the position of the harvester head – a key step towards the precision forestry of the future? *Croatian Journal of Forest Engineering*, 36(2): 147–164.

Luecke, R., R. Katz, 2003: *Managing Creativity and Innovation*. Boston, MA: Harvard Business School Press.

Madonsela, N. S., S. C. Mukwakungu, C. Mbohwa, 2017: Continuous innovation as fundamental enabler for sustainable business practices. *Procedia Manufacturing*, 8: 278–283.

Martinić, I., M. Šporčić, V. Vondra, 2006: Inovacijski procesi kao ključ provedbe hrvatske šumarske politike. *Glasnik za šumske pokuse, pos. izdanje*, 5: 703–715.

MCPFEE, 2003: Vienna Resolution 2 »Enhancing Economic Viability of Sustainable Forest Management in Europe«. 4<sup>th</sup> Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe, 28–30 April, Vienna, Austria. Available at: [http://www.foresteurope.org/docs/MC/MC\\_vienna\\_resolution\\_v2.pdf](http://www.foresteurope.org/docs/MC/MC_vienna_resolution_v2.pdf)

MCPFEE, 2015: Madrid Ministerial Resolution 1 »Forest sector in the center of Green Economy«. 7<sup>th</sup> Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe, 20–21 October, Madrid, Spain. Available at: [http://www.foresteurope.org/sites/default/files/ELM\\_7MC\\_2\\_2015\\_MadridResolution1\\_GreenEconomy\\_adopted.pdf](http://www.foresteurope.org/sites/default/files/ELM_7MC_2_2015_MadridResolution1_GreenEconomy_adopted.pdf)

Nelson, R., S. Winter, 1977: In search of a useful theory of innovation. *Research policy*, 6(1): 36–77.

OECD, 2005: *Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data. Oslo Manual*, 3<sup>rd</sup> edition. OECD, Statistical Office of the European Communities, Luxembourg, 10 Nov., 162 p.

Ojurović, R., I. Grbac 2007: Kako ubrzati inovacije u šumarskom sektoru. *Šumarski list*, 131(3–4): 181–187.

- Pezdevšek Malovrh, Š., P. Kumer, P. Glavonjić, D. Nonić, J. Nedeljković, B. Kisin, M. Avdibegović, 2017: Different organizational models of private forest owners as a possibility to increase wood mobilization in Slovenia and Serbia. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 38(1): 127–140.
- Posavec, S., 2009: Europske inovacijske nagrade. *Šumarski list*, 133(7–8): 458–459.
- Posavec, S., M. Šporčić, D. Antonić, K. Beljan, 2011: Poticanje inovacija – ključ razvoja u hrvatskom šumarstvu. *Šumarski list*, 135(5–6): 243–256.
- Prajogo, D. I., 2006: The relationship between innovation and business performance – a comparative study between manufacturing and service firms. *Knowledge and Process Management*, 13(3): 218–225.
- Rametsteiner, E., G. Weiss, K. Kubeczko, 2005: *Innovation and entrepreneurship in forestry in central Europe*. Leiden Brill Academic Publishers, 179 p.
- Rametsteiner, E., G. Weiss, 2006: Innovation and innovation policy in forestry: Linking innovation process with systems models. *Forest Policy and Economics*, 8(7): 691–703.
- Rogers, E. M., 1995: *Diffusion of Innovations*. 4<sup>th</sup> edition, The Free Press, New York.
- Sarvašova, Z., J. Šálka, Z. Dobšínská, M. Kovalčík, 2014: The comparison of innovations in Slovakian forestry between 2002 and 2010 – a shift to multifunctionality? *South-east European Forestry*, 5(2): 125–134.
- Schumpeter, J., 1911: *Theorie der ökonomischen Entwicklung*. München. English edition 1934: *The theory of economic development*, Cambridge, Mass: Harvard University Press.
- Seeland, K., J. Godat, R. Hansmann, 2011: Regional forest organizations and their innovation impact on forestry and regional development in central Switzerland. *Forest Policy and Economics*, 13(5): 353–360.
- Silva, G. M., C. Styles, L. F. Lages, 2017: Breakthrough innovation in international business: The impact of tech-innovation and market-innovation on performance. *International Business Review*, 26(2): 391–404.
- Srića, V., 2003: Kako postati pun ideja. MEP Consult, Zagreb, 192 p.
- Steelman, T. A., 2010: *Implementing innovation – fostering enduring change in environmental and natural resource governance*. Georgetown University press, Washington, DC, 224 p.
- Šporčić, M., M. Landekić, M. Marjanović, 2012: Vodič za prikupljanje podataka i interpretaciju inovacija u šumarstvu. *Nova mehanizacija šumarstva*, 33(1): 79–94.
- Šporčić, M., S. Posavec, M. Landekić, T. Pentek, T. Poršinsky, K. Lepoglavec, 2014: Development and implementation of innovations in Croatian forestry. *Proceedings of JOINT 5<sup>th</sup> Forest Engineering Conference (FEC) & 47<sup>th</sup> International Symposium on Forestry Mechanisation (FORMEC) »Forest Engineering: Propelling the Forest Value Chain«*, Gerardmer, France, 23–26 September, 8 p.
- Weiss, G., D. Pettenella, P. Ollonqvist, B. Slee (eds), 2011: *Innovation in Forestry – Territorial and Value Chain Relationships*. CABI Publishing, 319 p.
- Zaied, R. M. B., H. Louati, H. Affes, 2015: The relationship between organizational innovations, internal sources of knowledge and organizational performance. *International Journal of Managing Value and Supply Chains*, 6(1): 53–67.
- Živojinović, I., J. Nedeljković, V. Stojanovski, A. Japelj, N. Nonić, G. Weiss, A. Ludvig, 2017: Non-timber forest products in transition economies: Innovation cases in selected SEE countries. *Forest Policy and Economics*, 81: 18–29.

---

## Abstract

---

### *Innovation Awards in Forestry*

*Innovation is the cornerstone of today's business practice and a driving force of modern economy. At the level of European policy, innovation (integral element of the »Europe 2020« Strategy) is considered to be crucial for the creation of economic growth and employment, and for the strengthening of rural area development. For many thriving companies, innovations are the key factor of their growth and development. The importance and role of innovations have also been recognized in forestry, and in many developed countries, different projects and actions are being implemented with the aim of strengthening the innovative forestry activities. This paper presents two programs aimed at awarding forestry innovations, which play an important role in promoting and encouraging innovation in forestry. One of these programs is the »Schweighofer Prize«, which represents Innovation Award for the European Forest-Based Sector. The other program is the »KWF Innovation Medal« awarded for the most innovative forestry developments/products at one of the most important forest technology events in Central Europe and one of the largest forest technology trade fairs KWF-Tagung (KWF Days) by Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik (KWF). The overview of selected programs includes innovation categories and prizes, nomination and evaluation procedure, and particularly awarded innovations, i.e. recent winners. In forestry, innovations are regarded as an instrument to improve competitiveness of forest products and services, strengthen the development of forestry and wood processing*

*industry, and provide successful answers to the challenges ahead. By presenting two prominent initiatives for evaluation and awarding innovations in forestry, the paper aims at raising the awareness of the importance and role of innovation in forestry, and ultimately at encouraging innovation activities and development of innovation culture in forestry.*

*Keywords: innovation in forestry, innovation awards, promotion of innovation*

---

Adrese autorâ – *Authors' addresses:*

Izv. prof. dr. sc. Mario Šporčić

e-pošta: sporcic@sumfak.hr

Dr. sc. Matija Landekić \*

e-pošta: mlandekic@sumfak.hr

Matija Bakarić, mag. ing. silv.

e-mail: mbakaric@sumfak.hr

Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Zavod za šumarske tehnike i tehnologije

Svetošimunska 25

10000 Zagreb

HRVATSKA

Mijo Ćosić, mag. ing. silv.

e-pošta: mijo.cosic1991@gmail.com

Ivane Lang 7

10360 Sesvete

HRVATSKA

\* Glavni autor – *Corresponding author*

Primljeno (*Received*): 10. 7. 2017.

Prihvaćeno (*Accepted*): 25. 7. 2017.



# Začetak oplemenjivanja božićnih drvaca u Hrvatskoj

Saša Bogdan, Ivica Čehulić, Mladen Ivanković

## Nacrtak – Abstract

U Hrvatskoj je registrirano 1305 uzgajivača (tzv. dobavljača) i 358 ha nasada božićnih drvaca. U 2016. godini proizvedeno je 2 574 212 božićnih drvaca (minimalne visine 20 cm). Naši uzgajivači uglavnom nemaju genetski kvalitetan, testiran reprodukcijski materijal koji bi se odlikovao stabilnošću poželjnih fenotipskih svojstava, što, među ostalim, rezultira velikim varijacijama u kvaliteti njihova konačnoga proizvoda. Međutim, za proizvodnju ornamentalno visokovrijednih božićnih drvaca potrebno je raspolagati kvalitetnim genotipovima koji će se uzgajati u primjereno optimalnim okolišnim uvjetima. Samo podjednakom brigom za obje navedene sastavnice (genotip i okoliš) može se postići uspješna proizvodnja visokokvalitetnih drvaca. Zbog toga smo odlučili pokrenuti proces oplemenjivanja radi stvaranja i proizvodnje domaćega genetski poboljšanoga reprodukcijskoga materijala božićnih drvaca.

U ovom su radu opisane faze i dinamika izvedbe započetoga oplemenjivanja naših dviju autohtonih vrsta – obične smreke i obične jele. Kao ciljna fenotipska svojstva izabrane su gustoća krošnje, oblik krošnje i debla te raspored iglica na izbojcima. Definirani su i opisani kriteriji za ocjenjivanje ciljnih fenotipskih svojstava odnosno kriteriji provedene selekcije plus stabala u dostupnim matičnim populacijama. Kandidati jedinke su izabrani u kategoriju plus jedinke ako im je ponderirana ukupna ocjena fenotipske kvalitete bila barem jednu standardnu devijaciju viša od aritmetičke sredine pripadajuće populacije. Teorijski raspon ponderiranih ocjena kretao se od 2,0 (2,6) do 5,0, pri čemu je viša ocjena značila veću fenotipsku kvalitetu.

Ukupno je ocijenjeno 65 kandidata stabala obične smreke. Seleksijski kriterij zadovoljilo je šest kandidata s ocjenama u rasponu od 4,0 do 4,5. U matičnoj populaciji obične jele ukupno je ocijenjeno 90 kandidata stabala. Od toga je seleksijski kriterij zadovoljilo 15 kandidata s ocjenama u rasponu od 4,1 do 4,8. Izabrane plus jedinke začetak su kolekcije biljnoga materijala koji će poslužiti za daljnje faze procesa oplemenjivanja.

*Ključne riječi:* *Picea abies* (L.) Karst., *Abies alba* Mill., reprodukcijski materijal, fenotipska selekcija, plus stabla

## 1. Uvod – Introduction

Ukrašavanje božićnoga drvca jedna je od najpoznatijih božićnih tradicija, čiji su počeci zabilježeni u šestnaestom stoljeću na području današnje Litve i Njemačke. U Hrvatskoj se taj običaj počinje pojavljivati u sredinom devetnaestoga stoljeća pod utjecajem njemačke tradicije (Wikipedija 2017).

Danas se u Europi prodaje oko pedeset milijuna božićnih drvaca godišnje. Danska je najveći europski proizvođač božićnih drvaca s obzirom na broj stanovnika. Četiri tisuće danskih uzgajivača godišnje proizvedu od šest do sedam milijuna božićnih drvaca

(na oko pet milijuna stanovnika), od kojih većinu izvoze u susjedne zemlje, pri čemu se procjenjuje da godišnje prihodeju dvjesto milijuna eura (Frampton i McKinley 1999). U Hrvatskoj je registrirano 1305 uzgajivača (tzv. dobavljača) božićnih drvaca koji posjeduju 358 ha nasada. U 2016. godini proizveli su 2 574 212 božićnih drvaca (minimalne visine 20 cm). U prosjeku se na domaćem tržištu proda oko 450 000 drvaca godišnje, izveze se oko 40 000 (ponajviše u Dansku, ali i u Italiju i Njemačku), a uveze se oko 20 000 komada (Ministarstvo poljoprivrede 2017). Očić (2015) navodi da u Hrvatskoj ima oko 1000 ha nasada te da se uvozi oko 100 000 komada božićnih drvaca.



**Slika 1.** Poželjni habitus božićnoga drvca (preuzeto s <http://christmasfarmsvt.com/christmas/trees/wholesale/>)

**Fig. 1** Desirable Christmas tree habitus (downloaded from <http://christmasfarmsvt.com/christmas/trees/wholesale/>)

Božićna drvca imaju dekorativnu ulogu, stoga je vrlo važno da u prvom redu posjeduju visoku razinu ornamentalne vrijednosti, tj. estetski privlačan habitus. Iako estetska privlačnost ovisi o individualnim ukusima, danas će se većina ljudi složiti da je ornamentalno vrijedno ono božićno drveće koje se odlikuje pravilnim piramidalnim oblikom krošnje, bez rašljivosti, odnosno s izraženim dominantnim vrhom te gusto razvijenim i simetričnim pršljenovima grana koje su gusto obrasle iglicama (slika 1).

Na konačnu ornamentalnu vrijednost svakoga pojedinoga božićnoga drvca utječu dvije neodvojive sastavnice, a to su:

- ⇒ genetska konstitucija jedinke (kvaliteta genotipa)
- ⇒ interakcijski utjecaji raznovrsnih okolišnih čimbenika koji djeluju na jedinku tijekom rasta (npr. toplina, vlaga, hraniva, tlo, štetnici, kompeticija, uzgojni zahvati i dr.).

Zbog toga je za proizvodnju ornamentalno visokovrijednih božićnih drvaca potrebno raspolagati kvalitetnim genotipovima koje je onda potrebno aktivno uzgajati u primjereno optimalnim okolišnim uvjetima (npr. orezivanjem krošnje, suzbijanjem korova i patogena, prihranjivanjem i dr.). Samo podjednako brigom za obje navedene sastavnice (genotip i okoliš) može se postići najveći uspjeh u proizvodnji visokokvalitetnih božićnih drvaca. I jedino takva proizvodnja božićnih drvaca može postati dugoročno isplativa gospodarska djelatnost, čak i s izvoznim mogućnostima.

Potrebno je pojasniti što su »kvalitetni« genotipovi i na što se misli pišući »potrebno je raspolagati kvalitet-

nim genotipovima«. Kvalitetan genotip je jedinka ili skupina jedinki (npr. populacija, varijetet, kultivar ili sorta) koji je svojom genetskom konstitucijom predodređen (može se reći biološki programiran) da se razvije u željeni fenotip (npr. gusti raspored pršljenova grana). To naravno ne znači da bi takav genotip pokazao željeni fenotip u bilo kakvim okolišnim uvjetima, jer je fenotip rezultanta djelovanja gena i okoliša (White i dr. 2007). Međutim, kvalitetan genotip će značajno učestalije pokazivati željeni fenotip, čak i u manje povoljnom okolišu, a posebice u povoljnom. Dakle, kad kažemo »potrebno je raspolagati kvalitetnim genotipovima«, mislimo da nasade božićnih drvaca treba osnivati reprodukcijom materijalom (sjeme, sadnice) dobivenim od provjereno kvalitetnih genotipova (kontroliranim križanjem ili kloniranjem). Povećanje ornamentalne vrijednosti domaće proizvodnje božićnih drvaca može biti korisno i za ukupno gospodarstvo zbog povećanja izvozne konkurentnosti naših proizvođača.

Reprodukcijski materijal vrsta božićnih drvaca naši uzgajivači (dobavljači) nabavljaju iz raznovrsnih domaćih i inozemnih izvora, a najčešće se radi o genetski vrlo raznolikom materijalu. Uzgajivači uglavnom nemaju genetski kvalitetan, testiran reprodukcijom materijal koji bi se odlikovao stabilnošću poželjnih fenotipskih svojstava, što, među ostalim, rezultira velikim varijacijama u kvaliteti njihova konačnoga proizvoda (slika 2).

Da bi se mogla podići kvaliteta i isplativost proizvodnje autohtonih božićnih drvaca, smatramo potrebnim moći uzgajivačima ponuditi provjereno genetski kvalitetan reprodukcijom materijal. Zbog toga smo odlučili pokrenuti oplemenjivanje božićnih drvaca u



**Slika 2.** Varijacije fenotipa božićnih drvaca (preuzeto s <https://extension.psu.edu/christmas-tree-production>)

**Fig. 2** Phenotypic variation of Christmas trees (downloaded from <https://extension.psu.edu/christmas-tree-production>)

Hrvatskom šumarskom institutu radi stvaranja, a poslije radi masovnije proizvodnje genetski oplemenjenoga reprodukcijskoga materijala.

Klasično je oplemenjivanje šumskoga drveća ciklički proces koji obuhvaća faze selekcije, genetičkoga testiranja i kontroliranoga križanja. Oplemenjivanje započinje izborom kandidata jedinki u divljim odnosno matičnim populacijama i njihovom objektivnom fenotipskom selekcijom radi identifikacije plus jedinki. Zatim se plus jedinke genetički testiraju, što omogućuje njihovu genotipsku selekciju odnosno identifikaciju elitnih genotipova. Elitne se jedinke međusobno kontrolirano križaju radi formiranja nove matične populacije te se proces ciklički ponavlja. Cilj je toga cikličkoga procesa stvoriti tzv. genetski poboljšane varijetete koji se onda masovno razmnožavaju spolnim ili vegetativnim načinom te se kao reprodukcijski materijal upotrebljavaju za osnivanje operativnih nasada (Bogdan i Katičić Bogdan 2015).

Ovim radom želimo upoznati stručnu i širu javnost sa začetim oplemenjivanjem naših dviju autohtonih vrsta radi stvaranja i proizvodnje domaćega genetski poboljšanoga reprodukcijskoga materijala božićnih drvaca.

## 2. Materijal i metode – *Material and methods*

### 2.1 Faze projekta i dinamika njihove provedbe *Project phases and dynamics of their implementation*

Projekt neformalnoga imena »Oplemenjivanje radi stvaranja i proizvodnje genetski poboljšanoga reprodukcijskoga materijala božićnih drvaca« zamišljen je kroz provedbu sedam faza, a to su:

- ⇒ odabir vrsta ciljnih fenotipskih svojstava i kriterija selekcije (1. godina)
- ⇒ fenotipska selekcija plus jedinki (2. i 3. godina)
- ⇒ utvrđivanje tehnologije masovne reprodukcije selektiranih plus jedinki (od 2. do 5. godine)
- ⇒ masovna proizvodnja poboljšanoga reprodukcijskoga materijala (od 5. godine)
- ⇒ genetičko testiranje plus jedinki (od 8. do 13. godine)
- ⇒ genotipska selekcija elitnih jedinki (13. i 14. godina)
- ⇒ masovna proizvodnja testiranoga genetski oplemenjenoga reprodukcijskoga materijala (od 15. godine).

Dinamika provedbe navedenih faza navedena je u zagrada. Projekt je započeo 2015. godine te je u

prvoj fazi odlučeno da se žarište postavi na dvije vrste – običnu smreku (*Picea abies* /L./ Karsten) i običnu jelu (*Abies alba* Mill.).

Obje su vrste autohtone i autorima ovoga članka odmah i lako dostupne, što je bio glavni razlog upravo njihova izbora. Međutim, ista se metodologija može upotrijebiti i za druge prikladne vrste.

Kao ciljna fenotipska svojstva za izbor kandidata definirali smo sljedeća: 1. gustoća krošnje (GK); 2. oblik krošnje i debla (OK) i 3. raspored iglica na izbojcima (RI). Uz navedena »glavna« fenotipska svojstva odlučili smo ocjenjivati i širinu krošnje (ŠK).

Kriteriji za ocjenjivanje definirani su kako slijedi:

- ⇒ Svojstvo GK: ocjene 3 – 5 (5 – gusta krošnja u gornjoj polovini, deblo gotovo nije vidljivo; 4 – manje gusta krošnja u gornjoj polovini, deblo djelomično vidljivo između pršljenova; 3 – relativno rijetka krošnja u gornjoj polovini, deblo jasno vidljivo između pršljenova grana)
- ⇒ Svojstvo OK: ocjene 2 – 5 (5 – pravilno piramidalna, simetrična krošnja; 4 – nepravilno piramidalna, tj. nesimetrična; 3 – nije piramidalna, valjkasta ili izraženo nesimetrična; 2 – vidljive ozbiljne nepravilnosti oblika, kao što su rašljivost, oštećeni terminalni izbojak, višestruki terminalni izbojci ili iskrivljenost debla)
- ⇒ Svojstvo RI: ocjene 3 – 5 (5 – izražajno »četkast« raspored, iglice pravilno raspoređene oko osi izbojka; 4 – četkast, ali uz uočljive nedosljednosti; 3 – »češljast« raspored, tj. tipična izgleda za običnu smreku – iglice raspoređene na dvije strane od osi izbojka)
- ⇒ Svojstvo ŠK: ocjene Š, pŠ, U (Š – široka krošnja; pŠ – poluširoka krošnja; U – uska krošnja).

### 2.2 Fenotipska selekcija plus jedinki obične smreke i obične jele – *Phenotypic selection of Norway spruce and silver fir plus trees*

Druga faza projekta započela je početkom 2016. godine s izborom tzv. kandidata jedinki u matičnim populacijama. Matična populacija (u prvom ciklusu oplemenjivanja) svaka je divlja, neoplemenjena populacija vrste od interesa nad kojom oplemenjivači imaju ingerenciju. Kao matična populacija obične smreke poslužila je smreka koja se nalazila u poljima Rasadnika Hrvatskoga šumarskoga instituta, a matična populacija obične jele bio je pokusni nasad provenijencija »Brloško« na području Šumarije Fužine (Ivanković 2005).

Većina jedinki u matičnoj populaciji obične smreke imala je 10 godina, dok su jedinke u matičnoj populaciji obične jele imale 20 godina. Od ukupno preko

## OBRAZAC za ocjenjivanje kandidata za plus jedinke božićnih drvaca

Naziv svojite: obična smreka (*Picea abies* [L.] Karst.)

Lokalitet: Rasadnik Hrvatskoga šumarskoga instituta, Jastrebarsko

Oznaka kandidata:

Položaj (mikrolokacija) kandidata:

Dob kandidata:

Datum ocjenjivanja:

Ocjenjivanje proveli: \_\_\_\_\_

| Fenotipsko svojstvo                            | Kandidat jedinka | Poredbena jedinka 1 | Poredbena jedinka 2 | Poredbena jedinka 3 | Poredbena jedinka 4 |
|--|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| <sup>1</sup> Gustoća krošnje                   |                  |                     |                     |                     |                     |
| <sup>2</sup> Oblik krošnje                     |                  |                     |                     |                     |                     |
| <sup>3</sup> Širina krošnje                    |                  |                     |                     |                     |                     |
| <sup>4</sup> Raspored iglica                   |                  |                     |                     |                     |                     |
| <sup>5</sup> Broj iglica po cm duljine izbojka |                  |                     |                     |                     |                     |
| <sup>6</sup> Prosječna duljina iglica, mm      |                  |                     |                     |                     |                     |

<sup>1</sup> Gustoća krošnje: ocjene **3–5** (5 – gusta krošnja u gornjoj polovini, deblo gotovo nije vidljivo; 4 – manje gusta krošnja u gornjoj polovini, deblo djelomično vidljivo između pršljenova; 3 – relativno rijetka krošnja u gornjoj polovini, deblo jasno vidljivo između pršljenova grana).

<sup>2</sup> Oblik krošnje: ocjene **2–5** (5 – pravilno piramidalna, simetrična; 4 – nepravilno piramidalna, tj. nesimetrična; 3 – nije piramidalna, valjkasta ili izraženo nesimetrična; 2 – vidljive ozbiljne nepravilnosti oblika, kao što su rašljivost, oštećeni terminalni izbojak, višestruki terminalni izbojci ili iskrivljenost debla).

<sup>3</sup> Širina krošnje (Š, pŠ, U): Š – široka krošnja; pŠ – poluširoka krošnja; U – uska krošnja

<sup>4</sup> Raspored iglica na izbojku: ocjene **3–5** (1 – izražajno „četkast“ raspored, iglice pravilno raspoređene oko osi izbojka; 2 – četkast, ali uz uočljive nedosljednosti; 3 – „češljast“ raspored, tj. tipična izgleda za običnu jelju).

<sup>5</sup> Broj iglica po duljini izbojka: izbrojiti iglice na 1 cm u srednjem dijelu osi izbojka koji se nalazi na osunčanom dijelu krošnje.

<sup>6</sup> Prosječna duljina iglice: izmjeriti duljinu 6 iglica na istom uzorku kao i za prethodno svojstvo (v. točku 5).

**Slika 3.** Obrazac za ocjenjivanje kandidata i poredbenih jedinki božićnih drvaca

**Fig. 3** Manual for scoring Christmas tree candidates and comparative individual trees

tisuću jedinki izabrano je 13 prikladnih kandidata obične smreke i 18 kandidata obične jele, i to subjektivnom metodom (vizualnim pregledom) na temelju prethodno navedenih definiranih fenotipskih svojstava i kriterija. Nakon toga se pristupilo ocjenjivanju kandidata te ocjenjivanju četiriju njima najbližih jedinki (poredbenih jedinki). Dakle, izbor plus jedinki proveden je na temelju poredbene metode fenotipske selekcije (Bogdan i Katičić Bogdan 2015). Ocjenama fenotipske kvalitete (GK, OK i RI – vidi sliku 3) dodijeljeni su koeficijenti važnosti te su izračunate ponderirane ukupne ocjene kvalitete habitusa svake pojedine jedinke po formulama:

$$PO_{PA} = (0,5 \times GK) + (0,4 \times OK) + (0,1 \times RI) \quad (1)$$

$$PO_{PAA} = (0,5 \times GK) + (0,3 \times OK) + (0,2 \times RI) \quad (2)$$

Gdje je:

$PO_{PA}$  ponderirana ukupna ocjena kvalitete habitusa za jedinku obične smreke

$PO_{PAA}$  ponderirana ukupna ocjena kvalitete habitusa za jedinku obične jele

Nakon izračunavanja ponderiranih ukupnih ocjena fenotipske kvalitete za sva ocjenjivana stabla u matičnim populacijama (kandidati i poredbene jedinke) izračunate su aritmetička sredina i standardna devijacija populacija ocjenjivanih jedinki. Kandidati su izabrani u kategoriju plus jedinke ako im je ponderirana ukupna ocjena fenotipske kvalitete bila barem jednu standardnu devijaciju viša od aritmetičke sredine pripadajuće populacije.

### 3. Rezultati i rasprava – Results and discussion

Ukupno je ocijenjeno 65 stabala obične smreke (13 kandidata i 52 poredbena stabla). Teorijski raspon ponderiranih ukupnih ocjena kvalitete habitusa ( $PO_{PA}$ ) bio je od 2,6 do 5,0 (pri čemu viša ocjena znači veću kvalitetu habitusa). Srednja vrijednost  $PO_{PA}$  ocjena u matičnoj populaciji iznosila je 3,4, dok se raspon ocjena kretao od 2,6 do 4,5. Standardna devijacija ocjena kvalitete habitusa iznosila je 0,4, što znači da je selek-

cijski prag za izbor plus jedinke iznosio 3,8. Seleksijski kriterij zadovoljilo je šest kandidata s ocjenama u rasponu od 4,0 do ocjene 4,5. Izabrane plus jedinke obične smreke u Registru nose oznake PA 2, PA 4, PA 5, PA 7, PA 9 i PA 12.

U matičnoj populaciji obične jele ukupno je ocijenjeno 90 stabala (18 kandidata i 72 poredbena stabla). Teorijski raspon ponderiranih ukupnih ocjena kvalitete habitusa ( $PO_{AA}$ ) bio je od 2,0 do 5,0 (viša ocjena = veća kvaliteta). Srednja vrijednost  $PO_{AA}$  ocjena u matičnoj populaciji iznosila je 3,5, dok se raspon ocjena kretao od 2,2 do 4,8. Standardna devijacija ocjena kvalitete habitusa iznosila je 0,6, što znači da je seleksijski prag za izbor plus jedinke iznosio 4,1. Seleksijski kriterij zadovoljilo je 15 kandidata s ocjenama u rasponu od 4,1 do 4,8. Izabrane plus jedinke obične jele u Registru nose oznake od AA 1 do AA 11, te AA 13, AA 14, AA 15 i AA 18.

Izabrane plus jedinke začetak su kolekcije biljnoga materijala koji će poslužiti za daljnje faze osmišljenoga projekta oplemenjivanja. One su uvedene u neformalni prvi hrvatski Registar plus jedinki božićnih drvaca. U Registru je za svaku plus jedinku upisana pripadajuća ocjena za svako ocjenjivano fenotipsko svojstvo te njezina ukupna ponderirana ocjena kvalitete habitusa. Osim toga u Registar su upisane i vrijednosti selekcijskoga praga, tj. vrijednosti aritmetičke sredine i standardne devijacije izračunate na temelju ponderiranih ocjena svih ocjenjivanih jedinki (kandidati i poredbene jedinke zajedno).

Plus jedinke posjeduju fenotipsku superiornost u odnosu na ostale pripadnike svojih matičnih populacija sukladno objektivnomu kriteriju selekcije (jedna standardna devijacija iznad prosjeka matičnih popu-

lacija). Trenutačno je projekt u provedbi treće faze (utvrđivanje tehnologije masovne reprodukcije selektiranih plus jedinki). Planirani rok završetka ove faze je 2022. godina, kada očekujemo stjecanje uvjeta za početak masovne proizvodnje prve generacije genetski poboljšanoga reproduksijskoga materijala božićnih drvaca obične smreke i obične jele.

#### 4. Literatura – References

- Bogdan, S., I. Katičić Bogdan, 2015: Genetika s oplemenjivanjem drveća i grmlja. Recenzirani nastavni tekst (skripta). Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–224.
- Frampton, J., C. McKinley, 1999: Christmas trees and greenery in Denmark – Production and tree improvement. *American Christmas Tree Journal*, 43(2): 4–11.
- Ivanković, M., 2005: Genetička i fenotipska varijabilnost hrvatskih i slovenskih provenijencija obične jele (*Abies alba* Mill.). Doktorski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–128.
- Ministarstvo poljoprivrede, 2017: Evidencija o proizvodnji, prometu i uvozu božićnih drvaca (zaključno s 31. 12. 2016.). Podatci dobiveni elektroničkom poštom na temelju prethodnoga upita.
- Očić, V., 2015: Isplati li se proizvoditi božićna drva? *Gospodarski list*, 22: 16–17.
- Wikipedija – suradnici, »Božićno drveće« Wikipedija, Slobodna enciklopedija, //hr.wikipedia.org/w/index.php?title=Bo%C5%BEi%C4%87no\_drveće&oldid=4642047 (pristupljeno 03. 11. 2017.).
- White, T. L., W. T. Adams, D. B. Neale, 2007: Forest genetics. CAB International, Wallingford Oxfordshire OX10 8DE UK, 1–682.

#### Abstract

#### *Initiation of Christmas Tree Breeding in Croatia*

*In Croatia there are 1 305 registered Christmas tree growers and 358 ha of farms. In 2016, 2,574,212 Christmas trees (>20 cm in height) were produced. Our growers do not usually use tested genetically improved reproductive material that would provide stability of desirable phenotypic traits, which (among other things) results in large variations in the quality of their final product. However, for the production of ornamentally highly valuable Christmas trees, it is necessary to grow high quality genotypes in optimal environmental conditions. Only equal care for both components (genotype and environment) can assure effective production of high quality trees. That is why we decided to initiate a Christmas tree breeding process with the aim of creating and producing domestic genetically improved reproductive material.*

*This paper describes the phases and dynamics of the breeding process for our two indigenous species, Norway spruce and silver fir. Crown density, tree form, and needle layout pattern were selected as the target phenotypic traits. The criteria for assessing the target phenotypic traits, i.e. the criteria for the plus trees selection in the available base populations, have also been described. Candidate individual trees were selected as the plus trees if their total weighted phenotypic quality score was at least one standard deviation higher than the arithmetic mean of the associated base*

populations. The theoretical range of weighted scores ranged from 2.0 (2.6) to 5.0, where a higher score meant higher phenotype quality.

A total of 65 Norway spruce candidate trees were scored. The selection criterion was met by 6 candidates with scores ranging from 4.0 to 4.5. A total of 90 silver fir candidate trees were scored. The selection criterion was met by 15 candidates with scores ranging from 4.1 to 4.8. Selected plus trees represent the initiation of a core plant collection that will be used for further breeding efforts.

*Keywords:* *Picea abies* (L.) Karst., *Abies alba* Mill., reproductive material, phenotypic selection, plus trees

---

Adrese autorâ – Authors' addresses:

Izv. prof. dr. sc. Saša Bogdan \*  
e-pošta: sbogdan@sumfak.hr  
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
Svetošimunska 25  
10000 Zagreb  
HRVATSKA

Ivica Čehulić, mag. ing. silv.  
e-pošta: ivicac@sumins.hr  
Dr. sc. Mladen Ivanković  
e-pošta: mladeni@sumins.hr  
Hrvatski šumarski institut  
Cvjetno naselje 41  
10450 Jastrebarsko  
HRVATSKA

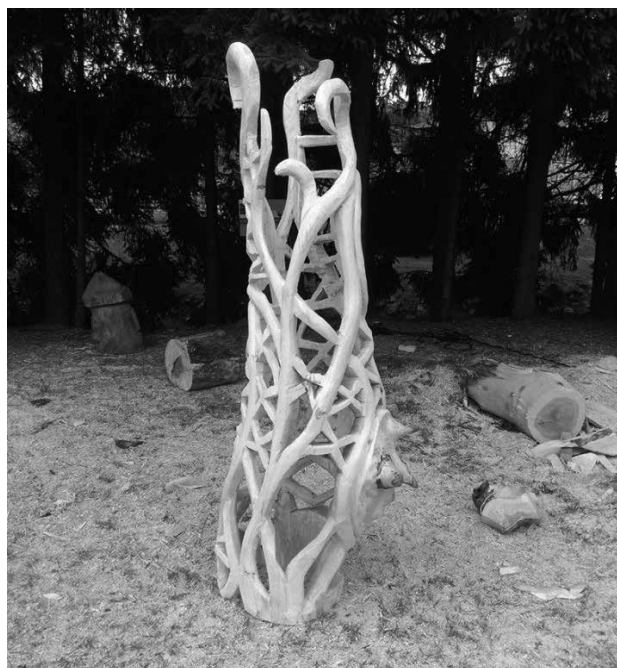
\* Glavni autor – Corresponding author

Primljeno (Received): 11. 9. 2017.

Prihvaćeno (Accepted): 9. 10. 2017.

### 3. hrvatski festival kiparenja motornom pilom, Salinovec, 17. i 18. lipnja 2017.

I ove godine u organizaciji Društva za športsku rekreaciju Salinovec te pod ponovnim pokroviteljstvom Grada Ivanca i Šumarskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu 17. i 18. lipnja u parku stare škole Salinovec održan je 3. hrvatski festival kiparenja motornom pilom. Festival su ove godine podržali Unikomerc-uvoz d.o.o., Hrvatsko šumarsko društvo, ali i Hrvatska komora inženjera šumarstva i drvne tehnologije. Zbog svoje atraktivnosti i izuzetne posjećenosti prethodnih godina festival je postao jedna od manifestacija kojom se obilježavaju Dani grada Ivanca u lipnju. Otvorio ga je gradonačelnik grada Ivanca Milorad Batinić, dipl. ing. šum., uz njega je govor na otvaranju održao i dekan Šumarskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu prof. dr. sc. Vladimir Jambreković, koji je istaknuo veliko zadovoljstvo što Šumarski fakultet od samoga početka podržava tu manifestaciju i pomaže u njezinu



**Slika 1.** Skulptura »Drvena čipka«  
**Fig. 1** The sculpture »Wood lace«



**Slika 2.** Skulptura »Tetrijeb gluhan«  
**Fig. 2** The sculpture »Wood grouse«

razvijanju te što se iz godine u godinu festival odvija sve uspješnije.

Svoje umijeće kiparenja motornom pilom pokazalo je pet natjecatelja iz Hrvatske, četiri iz Slovenije te dvojica natjecatelja iz Slovačke. Na festivalu su sudjelovali ovi kipari:

1. Pavol Hajduk (Slovačka)
2. Miloš Bobák (Slovačka)
3. Klemen Omejc, Preddvor (Slovenija)
4. Miro Rismondo, Smlednik (Slovenija)
5. Matija Vavdi, Solčava (Slovenija)
6. Matija Cigljar, Solčava (Slovenija)
7. Dražen Kuharović, Koprivnica
8. Franjo Butković, Sirač
9. Zoran Sestrić, Sirač
10. Josip Tomaić, Krasno
11. Dario Horbec, Ivanec.

Na jedinstvenom događaju bile su pokazane vještine natjecatelja u rezbarenju drva, a birao se i naj-





**Slika 3.** Skulptura »Žabac kraljević«  
**Fig. 3** The sculpture »The frog prince«



**Slika 4.** Najbolja skulptura po mišljenju publike »Formula Bullmobil«  
**Fig. 4** The best sculpture in the opinion of the audience »Formula Bullmobile«

bolji kipar glavne skulpture glasovima publike i stručnim odabirom žirija u sastavu:

- ⇒ akademski grafičar Josip Baće
- ⇒ akademski kipar Vladimir Gašparić
- ⇒ akademski kipar Krešimir Rod.

Prvo mjesto prema stručnomu žiriju pripalo je Miri Rismondu iz Slovenije za skulpturu drvene čipke (slika 1). Drugo mjesto pripalo je Josipu Tomaiću iz Hrvatske za skulpturu tetrijeba gluhanu (slika 2), dok je Pavol Hajduk iz Slovačke bio treći sa svojom skulpturom kraljevića žapca (slika 3). Skulptura formule Dražena Kuharovića proglašena je najboljom po odabiru publike (slika 4).

Natjecanje u brzjoj izradi skulpture (speedcarving) bila je izrazito atraktivna disciplina u kojoj se natjecateljima dalo najviše šezdeset minuta za izradu skulpture. Pobjedio je Pavol Hajduk za skulpture sove i gljive.

Za dašak tradicije zaduženi su i ove godine bili članovi KUD-a Salinovec koji su predstavili tradicionalne plesove i nošnju svoga kraja, i to starija i mlada skupina plesača. Uz rezbarenje bilo je sadržaja i za najmlađu publiku u kreativnim radionicama za djecu. Djeca su tako od recikliranoga papira izrađivala zmajevе i igračke, od tijesta pravila ogrlice, crtala i zabavljala se. Na izložbenim štandovima predstavili su se Šumarski fakultet Zagreb, tvrtka Kolar d.o.o., nekoliko umjetnika kipara u glini i drvu te udruge raznih djelatnosti.

Procjena je organizatora da je broj posjetitelja bio veći od prošlogodišnjega, koliko zbog podizanja razine organizacije toliko i zbog izuzetno lijepa vremena u ta dva dana odvijanja festivala. U svakom slučaju hrvatski festival kiparenja motornom pilom ove godine pokazao je da takav spoj umjetnosti, vještine, drva i motorne pile daje dobitnu kombinaciju za posjetitelje i postaje jednom od najzanimljivijih manifestacija na ivanečkom području, ali i šire, i festival koji se ne propušta u lipnju iduće godine.

Kruno Lepoglavec

# Međunarodno znanstveno savjetovanje »Šumsko inženjerstvo jugoistočne Europe – stanje i izazovi«, Mavrovo, Makedonija, 13. – 15. rujna 2017.

Od 13. do 15. rujna 2017. godine u Makedoniji u Nacionalnom parku Mavrovo održano je 4. međunarodno savjetovanje »Šumsko inženjerstvo jugoistočne Europe – stanje i izazovi« u organizaciji Šumarskoga fakulteta Sveučilišta »SS Cyril and Methodius« u Skoplju, Republika Makedonija. Prethodna takva savjetovanja održana su 2014. godine u Hrvatskoj u Zalesini, 2015. godine u Srbiji na Goču i 2016. godine u Sloveniji na Planici.

Nacionalni park Mavrovo osnovan je 1948. godine te je najveći od triju nacionalnih parkova u Republici Makedoniji. Prostire se na 72 204 hektara oko istoimenoga jezera u Makedoniji na sjeverozapadu države. Obuhvaća planine Korab, Dešat, jugozapadne ogranke Šar-planine, velike dijelove planine Bistre te sjeverne dijelove Krčine. Središnji dio parka zauzima dolina i slijev rijeke Radike. Mavrovo ima prekrasne bukove šume u kojima živi 60 endemskih vrsta biljaka, 140 vrsta ptica i tridesetak vrsta sisavaca.



**Slika 1.** Otvaranje skupa

**Fig. 1** Opening ceremony

Savjetovanje je održano u hotelu »Alpina« u Mavrovu. Sudjelovalo je više od 34 sudionika sa šumarskih fakulteta iz Skoplja, Sarajeva, Banje Luke, Zagreba, Ljubljane i Beograda, zatim iz državnih poduzeća »Makedonija šume« i »Nacionalni park Mavrovo«, te predstavnici tvrtki »Tajfun«, »Sinpeks«, »Palfinger kran« i »Stihl«. Predstavljeno je više od 15 znanstvenih, stručnih i preglednih radova. Dio radova međunarodnoga savjetovanja bit će objavljeno u izdanju *Forest review*, časopisu Šumarskoga fakulteta u Skoplju.

Savjetovanje su otvorili prof. dr. sc. Kiril Sotirovski, dekan Šumarskoga fakulteta u Skoplju, prof. dr. sc. Ljupčo Nestorovski, prof. dr. sc. Zdravko Trajanov te predstavnici Nacionalnoga parka »Mavrovo« i javnoga poduzeća »Makedonija šume« (slika 1).

Izlaganja su na savjetovanju razvrstana u sedam glavnih tematskih skupina:

- ⇒ Tehnike i tehnologije u iskorištavanju šuma
- ⇒ Korištenje i upotreba šumske biomase
- ⇒ Optimizacija šumske prometne infrastrukture
- ⇒ Izgradnja i održavanje šumskih prometnica
- ⇒ Mehanizacija u šumarstvu
- ⇒ Organizacija rada u šumarstvu
- ⇒ Ergonomija i sigurnost pri šumskom radu.

Savjetovanje se odvijalo u četirima sesijama, tri su sesije radile prvoga dana, a drugoga dana savjetovanja održana je zadnja sesija te se nakon radnoga dijela otišlo na ekskurziju u Ohrid. Posljednjega, trećega dana savjetovanja doneseni su zaključci i preporuke savjetovanja. Tematska se raznolikost najbolje vidi po naslovima izlaganja.

## Sesija 1

K. Lepoglavec, H. Nevečerel, D. Krušić, A. Seletković, Z. Pandur, M. Bačić: *Spatial analysis of the*

*surface availability during the fire extinguishing process on the island of Vis*

V. Leban, J. Krč: *A fresh perspective on business model analysis*

M. Danilović, N. Čuprić, D. Stojnić, A. Vorkapić: *Forest machinery in Serbia*

M. Mihelić, J. Marenče, A. Poje: *Productivity, energy consumption and costing of battery chain saws*

## Sesija 2

M. Danilović, R. Sarić: *Pruning in poplar populus euamericana »1-214« plantations*

A. Sarčević, J. Knežević, J. Musić, V. Halilović: *Fir bark features in the area of the »Grmeč-mijačica« management unit*

D. Marčeta, V. Petković, Z. Stanivuković: *Decreasing of wood quality in Norway spruce forests as result of pest attack in eastern part of the Republic of Srpska*

## Sesija 3

D. Ljubojević, V. Petković, D. Marčeta: *Planning of secondary forest roads*

T. Poršinsky, A. Đuka, T. Pentek: *Road density-a soap bubble or a strong indicator of forest openness*

Dž. Sokolović, N. Halimić, S. Gurda, M. Bajrić, V. Halilović, J. Knežević: *The analysis of the forest truck roads in aim of planned opening the forests in the area MU »Gornja rakitnica«, FMU »Trnovo«*

Z. Trajanov, Lj. Nestorovski, P. Trajkov: *Testing the applicability of the mathematical model for wood openness*

## Sesija 4

A. Poje, I. Potočnik, M. Mihelić: *Exposure to noise and hand-arm vibration when using battery powered chain-saw*

M. Danilović, S. Antonić, P. Vojvodić, V. Ćirović: *Use of thinning material from pine plantations*

V. Trifković, Z. Govedar: *Analysis of the connection between spatial factors with two types of forests in the Cernica forest management unit, Bosnia and Herzegovina*

C. Panoutsou, A. Singh, Lj. Nestorovski, N. Markovska: *Roadmap for lignocellulosic biomass and relevant policies for a bio-based economy in 2030*

R. Šarić, M. Danilović, Lj. Nestorovski, S. Antonić, D. Stojnić: *Production of assortments in selected black poplar clone plantations*

M. Šporčić, M. Bakarić, M. Landekić: *Development and promotion of innovation in forestry*

U okviru navedenih četiriju sekcija nalaze se i tri znanstvena članka hrvatskih autora, čiji su sažeci ovdje prikazani na hrvatskom jeziku:

⇒ K. Lepoglavec, H. Nevečerel, D. Krušić, A. Seletković, Z. Pandur, M. Bačić: *Spatial analysis of the surface availability during the fire extinguishing process on the island of Vis*

**Sažetak:** Postojeća javna i šumska primarna prometna infrastruktura trajni su objekti koji služe za redoviti obilazak šumskih površina. Također služe kao vatrobrani pojas te omogućavaju izravan pristup vatrogasnim vozilima na požarište, odnosno koriste se kao polazno mjesto odakle ekipe za gašenje gase požar ili kreću prema udaljenim požarištima. U radu se utvrđuje postojeća protupožarna prometna infrastruktura (šumske ceste, putovi i vlake) za pristup protupožarnim vozilom te pješačke staze za pristup površini pješke radi gašenja požara. Provedena je analiza brzine intervencije, na nasumičnom uzorku, iz dvaju dobrovoljnih vatrogasnih društava na otoku Visu te analiza dostupnosti površine s obzirom na vrijeme dojava požara. Kao rezultat daje se i prijedlog mjera za skraćivanje vremena dolaska na mjesto intervencije te za izgradnju dodatne prometne infrastrukture i za položaj novih objekata dobrovoljnih vatrogasnih društava.

⇒ T. Poršinsky, A. Đuka, T. Pentek: *Road density-a soap bubble or a strong indicator of forest openness*

**Sažetak:** Gustoća je cesta dobro poznat parametar koji je dugo vremena u šumarskim krugovima bio osnovna veličina prema kojoj se određivala razina dosegnute postojeće, ali i željene primarne otvorenosti nekoga šumskoga područja. Kao pokazatelj otvorenosti šuma, gustoća je cesta brojčani podatak (m/ha ili km/1000 ha) koji ne govori puno o kvaliteti prostor-



**Slika 2.** Izlaganje prof. dr. sc. Tomislava Poršinskoga

**Fig. 2** Oral presentation of paper Prof. dr. sc. Tomislav Poršinsky

noga rasporeda primarne šumske prometne infrastrukture šumskoga područja, već samo o njihovoj kvantiteti. Razvojem GIS-a i uspostavom digitalnoga registra primarne prometne šumske infrastrukture taj je osnovni nedostatak otklonjen.

Osnovni je metodološki problem izračuna gustoće cesta, kao pokazatelja otvorenosti šuma, nepostojanje kriterija za izračun duljine pojedine prometnice (ili njezinih segmenata) koja sudjeluje u obračunu, već samo postojanje načelnih smjernica s obzirom na dvostrano (puna duljina prometnice), odnosno jednostrano (pola duljine prometnice) privlačenje drva.

Rad se bavi prikazom i osvrtom na četiri osnovna (eliminacijska) i pet dodatnih (prostornih) kriterija izračuna duljine sastavnice primarne šumske prometne

infrastrukture koja se uzima u obzir pri obračunu gustoće cesta.

Navedeni su kriteriji sastavni dio Pravilnika o provedbi mjere M04 »Ulaganja u fizičku imovinu«, podmjere 4.3. »Potpora za ulaganja u infrastrukturu vezano uz razvoj, modernizaciju i prilagodbu poljoprivrede i šumarstva«, tipa operacije 4.3.3. »Ulaganje u šumsku infrastrukturu« iz Programa ruralnoga razvoja Republike Hrvatske za razdoblje 2014. – 2020.

M. Šporčić, M. Bakarić, M. Landekić: *Development and promotion of innovation in forestry*

Rad je u cijelosti dostupan u ovom broju časopisa *Nova mehanizacija šumarstva*.

Matija Bakarić



# Međunarodno znanstveno savjetovanje FORMEC »Innovating the competitive edge: from research to impact in the forest value chain«, Braşov, Rumunjska, 25. – 29. rujna 2017.

Pojam *šumarska mehanizacija*, osim dvaju značenja: »prožimanje tehnike i tehnologije« (mehanizirana sredstva za radove u šumarstvu) i »postupak mehaniziranja šumskih radova«, u posljednje vrijeme proširuje značenje i na značajke šumarskoga inženjerstva.

Godine 2017. pada vrlo važna obljetnica – pedeset godina od početka održavanja sastanaka na međunarodnoj razini znanstvenika i stručnjaka koji se bave šumarskom mehanizacijom. Prvi je takav skup održan 1966. godine u Zvolenu (bivša Čehoslovačka) pod imenom »Forest Machanization« radi okupljanja vodećih ljudi iz područja šumarske tehnike (strojevi) i tehnologije. Izvorna je ideja organizatora bila pružiti stručnjacima priliku da raspravljaju o šumarskom inženjerstvu ponajprije u vezi s tehničkim sredstvima i strojevima za obavljanje radova u šumskoj proizvodnji te produbljivati znanja i spoznaje pri izučavanju ove problematike, razmjenjivati ideje i popunjavati praznine zbog različitih razvojnih razina tehnologije pojedinih zemalja. U počecima su znanstveni skupovi obuhvaćali u prvom redu stručnjake zemalja istočne i srednje Europe, a posljednjih se desetljeća skupu pridružuju i znanstvenici i stručnjaci iz sjeverne i zapadne Europe te gotovo cijeloga svijeta i sa svih pet kontinenata.

Bojanin, Hafner, Kaldy, Krivec, Pankotai, Pestal, Platzer, Ronay, Turk i dr., koji se spominju kao utemeljitelji ideje, za financiranje troškova okupljanja planirali su niskobudžetna sredstva kako bi se osiguralo »neograničeno sudjelovanje«. Teme koje su prevladavale na tim skupovima uglavnom su obuhvaćale tehniku i tehnologiju pridobivanja drva. Službeni jezik simpozija u početku je bio njemački, a tijekom godina postao je engleski jezik da bi se proširilo međunarodno sudjelovanje te potaknulo sudjelovanje mladih znanstvenika i stručnjaka. Na početku se broj sudionika kretao

od 20 do 40 osoba, ali na sastancima u bliskoj prošlosti (2011., 2012., 2014.) broj je sudionika veći od 200.

Akronim FORMEC (*Forest Mechanization*), koji označuje okupljanje stručnjaka šumarske mehanizacije i tehnologija vezanih uz taj pojam, postaje služben 1994. godine na savjetovanju u Langnau u Švicarskoj.

U Hrvatskoj su održana tri FORMEC-ova znanstvena simpozija: Zalesina, 1983. godine, Zagreb, 1999. godine, i posljednji 2012. godine u Cavtatu. FORMEC 2012 u Cavtatu bio je i najposjećeniji do danas, s 234 sudionika, ako se izuzme FORMEC 2014 (Gerrardmer, Francuska) gdje su istodobno održana dva šumarska znanstvena skupa: FORMEC 2014 i COFE 2014 (Council on Forest Engineering).

Najnoviji, pedeseti jubilarni FORMEC 2017 održan je u rumunjskom gradu Braşovu, od 25. do 29. rujna. Braşov se nalazi u središnjem dijelu Rumunjske (45° 40'N 25° 37'E), na oko 166 kilometara sjeverno od Bukurešta i 150 km istočno od Sibiu. Osmi je grad u Rumunjskoj prema broju žitelja (gotovo 285 000 stanovnika, podaci procjene iz 2005. godine).



**Slika 1.** Crna crkva u Braşovu

**Fig. 1** Black church in Braşov

Domaćini i glavni organizatori savjetovanja bili su sveučilište Transilvania University of Braşov i Faculty of Silviculture and Forest Engineering, Department of Forest Engineering, Forest Management Planning and Terrestrial Measurements, Braşov, Romania, uz potporu mreže FORMEC. Partneri znanstvenoga savjetovanja FORMEC 2017 bili su Forest Romania, Prato, Forest based sector technology platform, Croatian Journal of Forest Engineering (CROJFE), Progresul Silvic i Annales of Forestry Research. Organizacijski odbor FORMEC 2017 predstavljali su prof. dr. sc. Stelian Alexandru Borz i izv. prof. dr. sc. Marina Viorela Marcu.

Glavna misao vodilja susreta sadržana je u samom naslovu: Novine u konkurentnosti: od istraživanja do utjecaja na vrijednosti lanaca dobave u šumarstvu (*Innovating the competitive edge: from research to impact in the forest value chain*).

Prvi dan savjetovanja, 25. rujna 2017. godine, bio je namijenjen za dolazak sudionika u Braşov, prijavu na savjetovanje i večernji domjenak (*Ice Breaking Party*).

Drugoga dana savjetovanja, 26. rujna 2017. godine, svečano otvaranje i plenarna izlaganja obavljena su u auli »Sergiu T. Chiriacescu« na Transilvanijskom sveučilištu Braşov. Pozdravne riječi prvi je uputio sudionicima prof. dr. sc. Ioan Vasile Abrudan, rektor Transilvanijskoga sveučilišta Braşov. Nakon njega nazočne je pozdravio prof. dr. Alexandru Lucian Curtu, dekan Šumarskoga fakulteta u Braşovu, a kao posljednji predstavnik domaćina, pozdravne je riječi uputio i prof. dr. sc. Stelian Alexandru Borz, prodekan Šumarskoga fakulteta u Braşovu i predsjednik Organizacijskoga odbora. Na kraju se s pozdravnim riječima nazočnima obratio i predsjednik Organizacijskoga odbora savjetovanja FORMEC 2018, koji se iduće godine treba održati u Madridu u Španjolskoj, prof. dr. sc. Eduardo Tolosana Esteban.

Nakon pozdravnih govora savjetovanje je nastavljeno plenarnim izlaganjima I i II tzv. glavnih govornika (*key note speakers*). Plenarna sjednica I održana je u istoj dvorani, moderator je bio prof. dr. sc. Stelian Alexandru Borz. Prvo predavanje pod naslovom *50<sup>th</sup> FORMEC Anniversary: achievements and perspectives for excellence in forest engineering* (50. godišnjica FORMEC-a: postignuća i perspektive izvrsnosti u šumarskom inženjerstvu) imao je predsjednik mreže FORMEC i profesor Bečkoga sveučilišta Karl Stampfer. Drugo je izlaganje imao prof. dr. sc. Hans Rudolf Heinemann (ETH Zürich) pod naslovom *Forest Engineering Systems: history and future* (Sustavi šumarskoga inženjerstva, prošlost i sadašnjost). Zadnje izlaganje u sklopu plenarne sjednice I imali su prof. dr. sc. Tibor Pentek iz Republike Hrvatske, sa Šumarskoga fakulteta Sveučilišta

u Zagrebu, ujedno i glavni urednik znanstvenoga časopisa CROJFE, i dr. sc. Ivica Papa, mladi urednik, predstavivši rad pod naslovom *CROJFE: achievements, excellence and future trends in forest engineering research* (CROJFE: postignuća, izvrsnost i budući smjerovi u istraživanjima šumarskoga inženjerstva). Autori su toga rada: Tibor Pentek, Mario Šporčić, Ivica Papa, Željko Tomašić i Tomislav Poršinsky. U prvom dijelu izlaganja prof. dr. sc. Tibor Pentek iznio je povijesni dio transformacije šumarskoga znanstveno-stručnoga časopisa *Mehanizacija šumarstva*, koji je počeo izlaziti još davne 1976. godine, a zadnji je broj izašao 2004. godine. Naslijedili su ga znanstveni časopis CROJFE (prvi broj izašao 30. lipnja 2005. godine) i znanstveno-stručni časopis *Nova mehanizacija šumarstva* (prvi broj izašao u prosincu 2006. godine). Izdavači znanstvenoga časopisa CROJFE danas su Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatske šume d.o.o. i Hrvatska komora inženjera šumarstva i drvne tehnologije, a suizdavač je od 2010. godine i međunarodna mreža FORMEC. Časopis izlazi i uz financijsku potporu Ministarstva znanosti i obrazovanja RH. Izdavačko vijeće časopisa čine predstavnici izdavača i suizdavača. Uredničko vijeće i Međunarodno uredničko vijeće (20 članova) časopisa CROJFE čine vodeći međunarodni i domaći znanstvenici i stručnjaci šumarskoga inženjerstva. Članovi su Uredničkoga vijeća prof. dr. sc. Tibor Pentek – glavni urednik, dr. sc. Željko Tomašić, odgovorni urednik, izv. prof. dr. sc. Mario Šporčić, tehnički urednik, dr. sc. Ivica Papa, mladi urednik, prof. dr. sc. Dubravko Horvat, savjetnik Uredništva, i dr. sc. Andreja Đuka, dr. sc. Zdravko Pandur i dr. sc. Dinko Vusić – tehničko uredništvo. Suradnja časopisa CROJFE i međunarodne mreže FORMEC traje već više od desetljeća, a službeno traje od 2010. godine kada je potpisan ugovor o suradnji. U nastavku svoga izlaganja opisao je ciljeve, poveznice te glavna postignuća i rezultate suradnje CROJFE-a i FORMEC-a (slika 2A).

U drugom dijelu prezentacije ovoga rada mladi urednik časopisa CROJFE dr. sc. Ivica Papa opisao je trenutačno stanje i status (rangiranost) časopisa te nove korake koji su poduzeti radi postizanja izvrsnosti u objavljivanju istraživanja na području šumarskoga inženjerstva. To se ponajprije odnosi na osiguranje dovoljnoga broja vrsnih radova (redovita, tematska i posebna izdanja), osiguranje baze recenzenata u području šumarskoga inženjerstva te najboljih međunarodnih znanstvenika za Međunarodni urednički odbor. Do danas je objavljeno 26 brojeva časopisa CROJFE, s 295 radova koje su objavila 553 autora iz 38 zemalja i 5 kontinenata. Sadašnji IF (za 2016. godinu) iznosi visokih 1.415 (Q2), a nastoji ga se i povećati. CROJFE je jedan od devet referentnih





**Slika 2.** Izlaganja prof. dr. sc. Tibora Penteka (A) i dr. sc. Andreje Đuke (B)

**Fig. 2** Presentations of professor Tibor Pentek, PhD. (A) and Andreja Đuka, PhD. (B)

časopisa IUFRO Grupe 3. Ostvaruje se vrlo intenzivna i plodna višegodišnja suradnja s FORMEC-om. Plod je te suradnje i najnoviji tematski broj časopisa s pozivnim autorima, u kojem je gost izdavač predsjednik mreže FORMEC prof. dr. sc. Karl Stampfer, a predstavljen je na FORMEC-u 2017. u Braşovu. Sadrži 14 znanstvenih radova (bez uvodnika), čiji su autori 37 znanstvenika, a naklada mu je 850 primjeraka. Glavni cilj Uredništva CROJFE-a za budućnost je postavljanje ovoga časopisa među vodeće časopise u polju šumarskoga inženjerstva te ulazak u bibliografsku bazu podataka CC (Current Contents).

Plenarna sjednica II bila je posvećena temama strategije i razvoja šumarskih resursa u EU-u i državi domaćinu. Započela je izlaganjem dr. Hans-Harald Jahna (Europska investicijska banka) zanimljivom temom *EIB in action: realising the commercial and environmental potential of forest resources* (EIB u akciji: ostvarivanje komercijalnih i ekoloških potencijala šumskih resursa). Johan Elvnert (European Forest-based Sector Technology Platform) predstavio je rad *Vision 2030 & RDI Agenda for the European Forest-based Sector* (Vizija 2030. i istraživanja, razvoj i inovacije – zadaci europskoga šumarskoga sektora). Jeremy Wall (Europska komisija) izložio je glavne spoznaje rada vezanoga uz glavnu misao vodilju cjelokupnoga savjetovanja FORMEC 2017: *EU Forest Strategy: increasing forest value chain competitiveness* (Šumarska strategija EU: povećanje konkurentnosti lanca vrijednosti dobave u šumarstvu). Na kraju ovoga dijela plenarnih izlaganja generalni direktor poduzeća National Forest Administration – ROMSILVA, Ciprian Pahonţu izlagao je na temu *Strategic*

*Agenda 2020 for the Romanian State Forests Management* (Strateški plan 2020. za upravljanje rumunjskim državnim šumama).

#### **Posterska Sekcija I održavala se u auli »Sergiu T. Chiriacescu«.**

Rad savjetovanja zatim je nastavljen u trima sekcijama u različitim dvoranama fakulteta gdje se izlagalo i raspravljalo o raznim temama od »Cutting edge technology – New trends«, preko »Towards bioeconomy – Biomass & Bioenergy«, zatim »How much better? – Performance of harvesting systems«, sve do »Creativity reloaded – Innovations & Process optimization«, zatim »Infrastructure is the key – Forest road networks«, pa čak i o »Looking after Mama Nature – Environmental footprint«, ali i mnogim drugim.

U sekciji pod naslovom *Infrastructure is the key – Forest road networks* s moderatorom Tiborom Pentekom izložen je i rad Zavoda za šumarske tehnike i tehnologije Šumarskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod naslovom *Development of the New Method for Assessing Condition of Forest Road Surface* (Razvoj nove metode za procjenu stanja površine šumske ceste) autorâ: Marijana Šušnjara, Zdravka Pandura, Hrvoja Nevečerela, Krune Lepoglavca i Marina Bačića. Rad je izložio Marin Bačić, mag. ing. silv.

#### **Sažetak rada:**

U radu se opisuje jedna od metoda procjene stanja šumske ceste na temelju podataka mjerenja vibracija pri vožnji vozila opremljenoga mjernim sustavima. Vibracije su mjerene na svim trima osovinama vozila, a obuhvaćene su koordinate mjernoga uređaja, brzina

vozila i vrijeme. Snimanje je obavljeno na dijelovima šumske ceste pri vožnji u oba smjera, s različitim frekvencijama mjerenja, različitom tlaku u gumama i brzinom kretanja. Podaci su mjerenja obrađeni pomoću softvera posebno razvijenoga za tu svrhu te je utvrđena točnost procjene koja ovisi o kakvoći GPS-ova signala. Rezultati istraživanja nisu pokazali statistički značajne razlike u vibracijama pri mjerenjima frekvencija između 1 Hz i 10 Hz, ali su pokazali da se stanje šumske ceste može ocijeniti mjerenjem vibracija, da vibracije ne ovise o različitom tlaku u gumama te da se rasponi iznosa vibracija mijenjaju s promjenom brzine kretanja vozila. Točnost prikupljenih podataka ovisi o kakvoći GPS-ova signala te se zato preporučuje i da se svaki dio šumske ceste na kojem se mjere vibracije snimi dvostruko kako bi se i lokacije oštećenja prometnice utvrdile s većom pouzdanosću.

Ključne riječi: šumska cesta, oštećenje šumske ceste, mjerenje vibracija, softver za mjerenje vibracija

U sekciji pod naslovom *Humans and nature – Social & Environmental challenges sa moderatorom Mauriciom Acunom* predstavljena su još dva rada Zavoda za šumarske tehnike i tehnologije Šumarskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Autori su prvoga rada *Characteristics and Improvement of Forestry Workers Training in Croatia* (Značajke i mjere unapređenja osposobljavanja šumskih radnika u Hrvatskoj) Matija Landekić, Ivan Martinić, Matija Bakarić, Tibor Pentek, Tomislav Poršinsky i Mario Šporčić, a izlagao ga je dr. sc. Matija Landekić.

#### Sažetak rada:

Stručno osposobljavanje radnika smatra se ključnim elementom sigurnoga izvođenje radova u šumarstvu te osnovnim uvjetom kakvoće i učinkovitosti rada u šumskoj proizvodnji. U izlaganju se raspravlja o ključnim pitanjima izobrazbe šumarskih radnika u Hrvatskoj, te se detaljnije daje pregled broja pružatelja strukovne izobrazbe, njihova profila, vrste usluge i postupaka obuke koju pružaju. Istraživanje provedeno tijekom 2016. godine obuhvatilo je 94 pravne osobe koje posjeduju ovlaštenje za osposobljavanje za rad na sigurnan način u Republici Hrvatskoj. Značajke pravnih osoba koje pružaju osposobljavanje šumarskih radnika, s obzirom na a) sigurnu radnu praksu i b) strukovno osposobljavanje za rad motornom pilom i/ili skiderom istražene su pomoću upitnika. Usporedno s upitnikom provedeno je pretraživanje internetskih stranica pravnih osoba radi utvrđivanja njihova profila i usluga koje pružaju. Rezultati istraživanja pokazuju da 30,85 % pravnih osoba pruža samo osposobljavanje za sigurnu radnu praksu; 15,96 % pruža oba osposo-

bljavanja – za sigurnu radnu praksu i za rad motornom pilom i/ili skiderom; 5,32 % ispitanih subjekata pruža samo stručno osposobljavanje za rad motornom pilom i/ili skiderom; 31,91 % ne provodi ni jedan oblik osposobljavanja u šumarstvu, dok 15,96 % nije želio odgovoriti na postavljena pitanja. S druge strane, 15,96 % istih pravnih osoba koje ne provode osposobljavanje u šumarstvu ili nisu odgovorile na pitanja, na službenim internetskim stranicama imaju istaknutu uslugu stručnoga osposobljavanja za rad motornom pilom i/ili skiderom. Ključni nalazi istraživanja pokazali su veliku heterogenost pružatelja osposobljavanja, te istaknuli određeni izostanak i/ili ograničenje u trenutačnim programima osposobljavanja i s obzirom na trajanje teorijskoga i praktičnoga dijela osposobljavanja, ali i s obzirom na upotrebu netransparentnih kriterija i standarda u procjeni provedenoga osposobljavanja. Kao primjer uspješnoga rješenja u osposobljavanju šumarskih radnika kratko je u radu predstavljen Europski standard za rukovanje motornom pilom (ECS). ECS je razvijen sustav certifikacije osposobljavanja gdje, kroz centre za obuku u šumarstvu, znanje i vještine osposobljavanja moraju biti potvrđene obveznim pregledom i certifikacijskim postupkom. Sukladno navedenom, u okviru diskusije i zaključaka daje se pregled zakonskih i organizacijskih zahtjeva za primjenu prethodno razvijenoga europskoga modela (ECS) u izgradnji proaktivnoga certifikacijskoga sustava za osposobljavanje šumarskih radnika u Hrvatskoj.

Ključne riječi: šumarstvo, šumski radnik sjekač, zaštita na radu, stručno osposobljavanje, certifikacija, Hrvatska

Drugi rad, *Is Life Cycle Assessment in Forestry Still at Starting Position?* (Je li analiza životnoga ciklusa u šumarstvu još u početnoj poziciji), Andreja Đuke, Dinka Vusića, Marina Bačića, Davida Janeša, Zdravka Pandura i Ivice Pape izlagala je dr. sc. Andreja Đuka (slika 2B).

#### Sažetak rada:

Analiza je životnoga ciklusa (*Life Cycle Assessment – LCA*) jedan od najčešće korištenih alata pri upravljanju okolišem, ali njegova primjena u šumarstvu još je uvijek na niskoj razini. Šumarstvo i drvna industrija zajedno proizvode široku paletu proizvoda, dok je proizvodnja drvne sirovine često isključena iz analiza životnoga ciklusa. Koraci u proizvodnji drvnih proizvoda imaju značajan učinak na okoliš ovisno o korištenim strojevima odnosno vozilima, izgradnji i održavanju šumskih prometnica, načinu gospodarenja šumama (čiste sječe, oplodne ili preborne sječe) i dr.



**Slika 3.** Posjet izložbi FOREST ROMANIA: Šumski strojevi i tehnologije

**Fig. 3** Visit to FOREST ROMANIA: Forest machinery and technology fair

Rad daje pregled dosadašnjih istraživanja životnoga ciklusa u šumarstvu kroz tri potpodručja: 1) pridobivanje drva, 2) šumska biomasa i 3) izgradnja i održavanje šumskih prometnica.

Ključne riječi: analiza životnoga ciklusa, potrošnja energije, upravljanje okolišem, drvni proizvodi, utjecaj na okoliš

Svečanost zatvaranja dijela savjetovanja koji se odnosio na autorsku prezentaciju radova u glavnoj sali Aula Magna predvodio je prof. dr. sc. Stelian Alexandru Borz, prodekan Šumarskoga fakulteta u Braşovu i predsjednik Organizacijskoga odbora FORMEC 2017.

Četvrti dan savjetovanja, 28. rujna 2017. godine, bio je posvećen terenskomu obilasku šumarske izložbe (sajma) pod imenom FOREST ROMANIA: *Forest machinery and technology fair*, [www.forestromania.com](http://www.forestromania.com). U sklopu izložbe mogli su se vidjeti najnoviji šumski strojevi poput harvesteri, forvarderi, traktorskih i kamiionskih ekipaža, skidera, žičnih sustava, motorne pile i dr. renomiranih proizvođača kao što su John Deere, Komatsu, Ponsse, Man, Husquarna, Stihl, brojnih domaćih proizvođača, od kojih su se mnogi mogli vidjeti i u radu u operativnim uvjetima (slika 3).

Mreža FORMEC, kako je i ranije već više puta isticano, ohrabruje i podupire visokokvalitetan rad i zalaganje u istraživanjima šumarskoga inženjerstva. Ove je godine za pokazanu izvrsnost dobilo nagrade troje mladih znanstvenika, prvu nagradu za najbolju prezentaciju primio je Hunter Harrill, Sveučilište u Canterburyu, Novi Zeland; drugu nagradu za najbolju prezentaciju Preston Green, Sveučilište u Oregonu, SAD, a nagradu za najbolji poster osvojila je Madalina Fornea, Transilvanijsko sveučilište u Braşovu, Rumunjska.

Željko Tomašić



# Mobilisis uz korisnika na svakom kilometru!

## Fleet management

Specijalizirana rješenja za nadzor vozila/strojeva

Izvještaj s tahografa

Integracija sustava sa dodavanjem programskih modula za izmjenu podataka knjigovodstvenim sustavima (SAP, CRM...)

Car sharing modul

Automatsko plaćanje cestarine (Mađarska)

Modul za održavanje i administraciju voznog parka

Evidencija svih troškova nastalih po vozilu ili vozaču

Automatska izrada putnih/radnih naloga



Mobilisis sustav ima široku primjenu, a prvenstveno je namijenjen tvrtkama s flotom vozila. To je inteligentni sustav za upravljanje, optimizaciju, nadzor i administraciju voznog parka. Mobilisis sustav je informatička infrastruktura visoke tehnologije, u potpunosti je hrvatski proizvod te je internacionalno prepoznatljiv brand na području IT tehnologije i prijenosa podataka. Mobilisis proizvodi su pažljivo projektirane hardverske i softverske komponente koje omogućuju fleksibilnu primjenu u najzahtjevnijim poslovnim procesima. Mobilisis je jedinstvena platforma koja ujedinjuje različite tehnologije: pozicioniranje, telemetriju, bežičnu komunikaciju, navigaciju i digitalne mape, obradu poslovnih informacija i organizaciju rada. Namijenjena je za daljinsku kontrolu, nadzor, praćenje vozila, kontrolu radnog vremena, kontrolu pristupa, nadzor objekata i daljinsko mjerenje. Mobilisis platforma je u osnovi predefiniрана, a zatim se dodatno prilagođava potrebama korisnika. Broj novih funkcionalnosti, sukladno zahtjevima i potrebama korisnika, konstantno raste.

# MOBILISIS®



[www.mobilisis.hr](http://www.mobilisis.hr)  
[info@mobilisis.hr](mailto:info@mobilisis.hr)  
+385 42 311 777





# PRODUKTIVNOST, POGLED IZBLIZA.

Novi Husqvarna X-Cut lanac je projektiran, izgrađen i testiran u Husqvarni u skladu s našim profesionalnim motornim pilama. Izrađen za izvanrednu produktivnost, lanac nudi iznimnu reznu učinkovitost, oštrinu koja traje i manje potrebe za rastezanjem.

Drugim riječima: Minimalni zastoji i maksimalni rezultati.

## IZNIMNA REZNA UČINKOVITOST

BOLJI JREZULTATI,  
JEDNOSTAVIJ I RAD

## PRETHODNO RASTEGNUT

MANJE PRILAGODAVANJA,  
MANJE ŠTETE

## OŠTRINA KOJA TRAJE

VEĆA TRAJNOST,  
MANJE ODRŽAVANJA



## ZLATNA SPOJKA

JEDNOSTAVAN ORIJENTIR  
PRI OŠTRENJU ILI PROVJERI

## MINIMALNI ZASTOJI, MAKSIMALNA PRODUKTIVNOST

NOVI X-CUT™ LANAC  
ZA PROFESIONALCE.



**Husqvarna**  
READY WHEN YOU ARE



*"Na pravom tragu"*

Šuma GM d.o.o. ovlašteni **KOMATSU FOREST** zastupnik za  
Hrvatsku, Sloveniju i Srbiju



**KOMATSU**  
Forestry Quality

[www.sumagm.eu](http://www.sumagm.eu)





## M-Tronic. Inovacija u Vašim rukama

Motorne pile STIHL MS 241 C-M i MS 261 C-M serijski su opremljene s M-Tronic elektroničkim upravljanjem motorom.

Mikroprocesorska kontrola svih faza pokretanja i rada uređaja koju obavlja ovaj revolucionarni sklop, omogućuje neusporedivo mirniji, štedljiviji i učinkovitiji rad motorne pile. Ovi pouzdani strojevi opremljeni su također i s posebno učinkovitim antivibracijskim sustavom, HD2 pročistačem zraka, maticama vodilice integriranim u poklopac lančanika, zatvaračima spremnika koji se otvaraju bez alata, te mnogim drugim značajkama koje ove strojeve čine pravim izborom profesionalaca.

Upoznajte se i s ostatkom našeg proizvodnog programa kod vašeg ovlaštenog STIHL trgovca!

STIHL MS 241 C-M  
STIHL MS 261 C-M



**unikomerc**UVOZ

[www.unikomerc-uvoz.hr](http://www.unikomerc-uvoz.hr)



# SADRŽAJ – CONTENTS

---

## Izvorni znanstveni radovi – *Original scientific papers*

- Ivica Papa, Tibor Pentek, David Janeš, Tomislav Šerić, Dinko Vusić, Andreja Đuka**  
Usporedba podataka prikupljenih različitim metodama terenske izmjere pri rekonstrukciji šumske ceste 1  
*Comparison of Data Collected by Different Methods of Field Survey During the Reconstruction of Forest Road*
- Andreja Đuka, Tibor Pentek, Tomislav Poršinsky, David Janeš, Mislav Starčević, Ivica Papa**  
Otvorenost gospodarske jedinice Belevine, NPŠO Zalesina, i prijedlog daljnjega otvaranja 15  
*Forest Openness of Management Unit Belevine, FTRC Zalesina with Proposal for Further Opening*
- Vladimir Petković, Dane Marčeta, Darko Ljubojević, Jovan Kuburić**  
Determination of Average Skidding Distance Using GIS 33  
*Određivanje srednje udaljenosti privlačenja drva pomoću GIS-a*
- Ante Seletković, Martina Kičić, Alen Berta, Renata Pernar, Mario Ančić, Jelena Kolić, Ivan Balenović**  
Usporedba lidarskih i terenskih podataka pri izmjeri visine stabala u urbanim područjima 43  
*Comparison of Lidar and Field Data Survey in Measuring Tree Height in Urban Areas*
- Damir Ugarković, Ivica Tikvić, Martina Šporčić, Željko Španjol, Roman Rosavec**  
Utjecaj strukture sastojina na mikroklimu šumskih ekosustava hrasta crnike (*Quercus ilex* L.) i alepskoga bora (*Pinus halepensis* Mill.) 57  
*Effect of Stand Structure on Microclimate of Holm Oak (Quercus ilex L.) and Aleppo Pine (Pinus halepensis Mill.) Forest Ecosystems*

## Stručni radovi – *Professional papers*

- Aidin Parsakhoo, Majid Lottfalian**  
Locating Log Depots and Forest Roads Using a Weighted-Graph Optimization Algorithm 67  
*Određivanje najpovoljnijih mjesta pomoćnih stovarišta i najpovoljnijega pružanja šumske ceste ponderiranim grafičkim algoritmom optimizacije*
- Mario Šporčić, Matija Landekić, Mijo Ćosić, Matija Bakarić**  
Inovacijske nagrade u šumarstvu 79  
*Innovation Awards in Forestry*
- Saša Bogdan, Ivica Čehulić, Mladen Ivanković**  
Začetak oplemenjivanja božićnih drvaca u Hrvatskoj 91  
*Initiation of Christmas Tree Breeding in Croatia*

## Osvrti – *Comments*

- Kruno Lepoglavec**  
3. hrvatski festival kiparenja motornom pilom, Salinovec, 17. i 18. lipnja 2017. 97
- Matija Bakarić**  
Međunarodno znanstveno savjetovanje »Šumsko inženjerstvo jugoistočne Europe – stanje i izazovi«, Mavrovo, Makedonija, 13. – 15. rujna 2017. 99
- Željko Tomašić**  
Međunarodno znanstveno savjetovanje FORMEC »Innovating the competitive edge: from research to impact in the forest value chain«, Braşov, Rumunjska, 25. – 29. rujna 2017. 103

ISSN 1845-8815



9 771845 881505