

UDK: 630\*3

ISSN 1845-8815

**NOVA**

**MEHANIZACIJA**

**ŠUMARSTVA**

NOVA  
MEHANIZACIJA



ŠUMARSTVA

Nova meh. šumar.

Godište (Volume) 37

**2016**



 **HRVATSKE  
ŠUME**



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 were 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, Ivan Pavelić, Ivan Ištók  
(all from Croatia)

#### Uredničko vijeće (Editorial Board)

Igor Anić, Ivan Balenović, Saša Bogdan, Zdenko Bogović, Jura Čavlović,  
Damir Drvodelić, Milvoj Franjević, Josip Ištvančić, Ante P.B. Krpan, Josip  
Margaletić, Slavko Matić, Hrvoje Nevečerel, Marinko Prka, 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 Erler (Germany), Stefano Grigolato (Italy), Hans  
Rudolf Heinemann (Switzerland), Dirk Jaeger (Germany), Janez Krč  
(Slovenia), Martin Kühmaier (Austria), Tadeusz Moskalik (Poland), Jusep  
Musić (Bosnia and Herzegovina), Ljupčo Nestorovski (Macedonia), Igor  
Potočnik (Slovenia), Hideo Sakai (Japan), Dževada Sokolović (Bosnia and  
Herzegovina), Raffaele Spinel (Italy), Karl Stampfer (Austria), Jori Uusitalo  
(Finland), Rien Visser (New Zealand)

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

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

#### 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 Poršinskiy

#### 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)

16.12.2016.

## Sadržaj – Contents

### Izvorni znanstveni radovi – Original scientific papers

#### Ivan Balenović, Hrvoje Marjanović

Odabir optimalne prostorne rezolucije fotogrametrijskih digitalnih modela površine za primjenu  
u šumarstvu – primjer s područja nizinskih šuma hrasta lužnjaka  
*Selection of the Optimal Spatial Resolution Image-Based Digital Surface Models for Use  
in Forestry – Example from the Area of Lowland Oak Forests*

1

#### Ante Seletković, Marija Perić, Ivan Balenović

Fotogrametrijska procjena srednjih sastojinskih visina odvojeno po vrstama drveća u mješovitim  
sastojinama središnje Hrvatske  
*Photogrammetric Estimation of the Mean Stand Heights Separated by Tree Species in Mixed Forests  
of Central Croatia*

15

#### Petr Hružza, Petr Pelikán, Jaroslav Blahuta, Jiří Nedorost, Zdeněk Patočka

A Structural Reinforcement Layer with Woodchips Used on Forest Roads  
*Mogućnost uporabe prosušene drvne sječke pri mehaničkoj stabilizaciji donjega ustroja šumskih cesta*

25

#### Dino Friščić, Tomislav Poršinskiy, Željko Zečić, Dinko Vusić

Analiza utjecajnih čimbenika pri mehaniziranoj izradi kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva  
*Analysis of Factors Affecting Mechanized Production of Chopped Firewood*

37

#### Marijan Šušnjarić, Zdravko Pandur, Marin Bačić, Marko Zorić

Raspodjela mase tovara i osovinskoga opterećenja šumskih kamionskih skupova pri prijevozu  
jelova celuloznoga drva  
*Distribution of Load Masses and Axle Loads on Forest Truck Units during Transport of Fir Pulpwood*

47

### Pregledni članci – Subject reviews

#### Hrvoje Nevečerel, Kristina Pavešić, Iva Murgić, Ivica Papa, Matija Landekić, Kruno Lepoglavec

Mogućnosti primjene gabiona  
*Possibilities of application of gabions*

59

#### Valerie Findeis

An Overview of Forest Management in Austria  
*Pregled gospodarenja šumama u Republici Austriji*

69

### Stručni rad – Professional Paper

#### Stjepan Posavec, Željko Zečić, Karlo Beljan, Nenad Šimunović

Izračun profitabilnosti i optimizacija kogeneracijskoga postrojenja korištenjem drvne sječke  
*Calculation of Profitability and Optimization of Cogeneration Plant Using Wood Chips*

77

### Osvrti – Comments

#### Željko Šantek

Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu domaćin sastanka Ekspertnoga tima za energiju drva UNECE/FAO-a

87

#### Kruno Lepoglavec

Drugi hrvatski festival kiparenja motornom pilom

91

#### Andreja Đuka

Međunarodno znanstveno savjetovanje FORMEC 2016

93

#### Marin Bačić

Međunarodno znanstveno savjetovanje »Gozdarsko inženirstvo jugovzhodne Evrope – stanje in izzivi«,  
Planica, Slovenija, 21. – 23. rujna 2016.

97

#### Matija Bakarić

Međunarodni stručno-znanstveni skup »Zaštita na radu i zaštita zdravlja«, Zadar, 21. – 24. rujna 2016.

101

### Fotografija na naslovnici (Cover photo)

Festival kiparenja motornom pilom u Salinovcu (Snimio: B. Težak)  
*Chainsaw sculpting festival in Salinovec (Photo: B. Težak)*

Uz prvog izdavača izdavanje ovog časopisa sufinanciralo je Ministarstvo poljoprivrede sredstvima naknade za korištenje općekorisnih funkcija šuma i Ministarstvo znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske. Ovdje navedeni stavovi ne moraju nužno odražavati stavove Ministarstva poljoprivrede  
*Publishing of this journal is co-financed by funds for non-market forest values from Croatian Ministry of Agriculture and by funds from Croatian Ministry of Science and Education. Views or opinions presented in the journal are solely those of the authors and do not necessarily represent those of the Ministry of Agriculture*

#### Pretpлата: 150 kn godišnje (tuzemno plaćanje)

Primatelj: Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu,  
p.p. 422, HR-10002 Zagreb  
Ziračun: 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

# Odabir optimalne prostorne rezolucije fotogrametrijskih digitalnih modela površine za primjenu u šumarstvu – primjer s područja nizinskih šuma hrasta lužnjaka

Ivan Balenović, Hrvoje Marjanović

## Nacrtak – Abstract

Posljednjih godina digitalna aerofotogrametrija počinje se primjenjivati kao alternativna metoda zračnomu laserskomu skeniranju u trodimenzionalnom modeliranju šumskih površina, poglavito u izradi digitalnih modela površine (DSM-ova). Za potrebe inventure šuma DSM se uglavnom koristi u kombinaciji s digitalnim modelom reljefa, preklapanjem kojih se dobije digitalni model visine sastojina/krošanja (CHM) koji se potom koristi za procjenu različitih varijabli pojedinačnih stabala ili šumskih sastojina.

Glavni je cilj ovoga istraživanja bio ispitati vertikalnu točnost DSM-ova različite prostorne rezolucije na šumskom području. U tu su svrhu za nizinske šume hrasta lužnjaka (GJ Kunjevci, UŠP Vinkovci) izrađeni DSM-ovi prostorne rezolucije 0,3 m ( $DSM_{0,3}$ ), 0,5 m ( $DSM_{0,5}$ ), 1 m ( $DSM_1$ ), 2 m ( $DSM_2$ ) i 5 m ( $DSM_5$ ) metodom slikovne korelacije digitalnih stereo-aerosnimaka. Vertikalna točnost DSM-ova ispitana je usporedbom nadmorske visine 294 vrha stabala izmjerena manualnom, stereofotogrametrijskom izmjerom i nadmorske visine očitane s DSM-ova.

Prema očekivanjima najveća je točnost dobivena za  $DSM_{0,3}$  (drugi korijen srednje kvadratne pogreške, RMSE = 0,76 m; srednja pogreška, ME = -0,03 m), ali je gotovo identična točnost dobivena i za  $DSM_{0,5}$  (RMSE = 0,76 m; ME = -0,05 m) i  $DSM_1$  (RMSE = 0,76 m; ME = -0,07 m). Nešto manja točnost dobivena je za  $DSM_2$  (RMSE = 0,84 m; ME = -0,16 m), a najmanja točnost dobivena je za  $DSM_5$  (RMSE = 1,31 m; ME = -0,54 m).

Dobiveni rezultati pokazuju da smanjivanje prostorne rezolucije rasterskih DSM-ova od 0,3 m do 1 m ne utječe bitno na njihovu vertikalnu točnost, odnosno na točnost pri očitavanju nadmorske visine vrhova stabala. Daljnjim smanjivanjem prostorne rezolucije prema 2 m, a osobito do 5 m, vertikalna točnost DSM-ova se smanjuje. Buduća istraživanja vrijedilo bi usmjeriti na ispitivanja mogućnosti primjene DSM-ova različite prostorne rezolucije u inventuri šuma, i to:  $DSM_{0,3}$  i  $DSM_{0,5}$  za pridobivanje informacija na razini pojedinačnih stabala,  $DSM_{0,5}$  i  $DSM_1$  na razini plohe te  $DSM_1$ ,  $DSM_2$  i  $DSM_5$  na razini sastojine.

Ključne riječi: digitalni model površine (DSM), digitalna fotogrametrija, aerosnimke, slikovna korelacija, inventura šuma

## 1. Uvod – Introduction

Digitalni model površine (DSM, prema engl. *Digital Surface Model*) predstavlja matematički model Zemljine površine, uključujući izgrađene objekte i vegetaciju (Paparoditis i Polidori 2002). Ako se radi o DSM-u nekoga šumskoga područja, on predstavlja gornju površinu krošanja. Za izradu DSM-a uglavnom se ko-

riste podaci dobiveni metodama daljinskih istraživanja. Među različitim metodama daljinskih istraživanja posljednjih desetak godina zračno lasersko skeniranje (LiDAR, prema engl. *Light Detection and Ranging*) i digitalna stereofotogrametrija pokazale su se najpouzdanijim metodama izrade DSM-a (Höhle i Höhle 2009). Pri tom su kod LiDAR-a glavni ograničavajući čimbe-

nici visoki troškovi snimanja, osobito kada se radi o većim područjima istraživanja i ponovljenim snimanjima. S druge strane, troškovi aerosnimanja znatno su niži od LiDAR-a te se u mnogim zemljama, uključujući i Hrvatsku, aerosnimke redovito ažuriraju periodičnim aerosnimanjem svakih nekoliko godina za topografske svrhe (Nurminen i dr. 2013). Nedavni napredak i poboljšanje kvalitete aerosnimaka (radiometrijska i geometrijska rezolucija), razvoj naprednih algoritama obrade aerosnimaka, poboljšanje kapaciteta i snage računala (Leberl i dr. 2010) potaknuli su brojna istraživanja o mogućnostima uporabe DSM-a dobivena digitalnom stereofotogrametrijom iz aerosnimaka u mnogim djelatnostima, pa tako i u šumarstvu (Bohlin i dr. 2012, Järnstedt i dr. 2012, Nurminen i dr. 2013, Straub i dr. 2013, Pitt i dr. 2014, Gobakken i dr. 2015, Granholm i dr. 2015, Stepper i dr. 2015, Rahlf i dr. 2015, St-Onge i dr. 2015, Puliti i dr. 2016, Tanhuanpää i dr. 2016).

Postupak izrade DSM-a u digitalnoj fotogrametriji temelji se na principu automatiziranoga stereofotogrametrijskoga procesiranja aerosnimaka. Nazivi koji se upotrebljavaju za opis postupka jesu: slikovna korelacija (engl. *image correlation*), digitalna korelacija aerosnimaka (engl. *correlation of digital images*), odnosno usklađivanje snimaka (engl. *image matching*). Cilj je slikovne korelacije automatsko određivanje slikovnih koordinata korespondirajućih točaka (piksela) lijeve i desne aerosnimke (stereopara) na temelju njihove radiometrijske i geometrijske sličnosti (White i dr. 2013). Ako je korelacija zadovoljavajuća (npr. koeficijent korelacije za promatranu točku lijeve i desne aerosnimke veći od unaprijed postavljenoga donjega praga), točka se uzima u obzir za daljnju obradu (aerotriangulacija, digitalno modeliranje terena itd.). Rezultat je slikovne korelacije trodimenzionalni oblak točaka (engl. *image point cloud*) koji se u daljnjim postupcima (interpolacijom) može koristiti za modeliranje terena, i to ponajprije za izradu DSM-a. DSM dobiven slikovnom korelacijom aerosnimaka vrlo je sličan onomu koji se dobije iz prvoga povratnoga impulsa zračnim laserskim skeniranjem (Pitt i dr. 2014).

U šumarstvu se DSM uglavnom koristi u kombinaciji s digitalnim modelom reljefa (DTM, prema engl. *Digital Terrain Model*) dobivenim iz aerosnimaka fotogrametrijskim putem (npr. u Hrvatskoj fotogrametrijskom izmjerom lomnih linija terena i izmjerom pravokutne mreže visinskih točaka) ili u novije vrijeme iz podataka koje daje LiDAR. Preklapanjem DTM-a i DSM-a, odnosno oduzimanjem DTM-a od odgovarajućega DSM-a dobije se digitalni model visine sastojina ili digitalni model visine krošanja (CHM, prema engl. *Canopy Height Model*) koji se potom u kombinaci-

ji s referentnim terenskim podacima može koristiti za procjenu različitih varijabli stabala i šumskih sastojina. Nedavna su istraživanja upozorila na velike mogućnosti za primjenu CHM-a izrađena iz fotogrametrijskoga DSM-a u procjeni glavnih strukturnih elemenata šumskih sastojina (Bohlin i dr. 2012, Järnstedt i dr. 2012, Nurminen i dr. 2013, Straub i dr. 2013, Pitt i dr. 2014, Gobakken i dr. 2015, Granholm i dr. 2015, Stepper i dr. 2015, Rahlf i dr. 2015, St-Onge i dr. 2015, Puliti i dr. 2016, Tanhuanpää i dr. 2016). Pri tom se točnost procijenjenih strukturnih elemenata sastojina razlikuje ovisno o tipu šume i strukturi sastojina u kojima je istraživanje provedeno, o pouzdanosti korištenih modela za procjenu strukturnih elemenata sastojina na temelju podataka dobivenih iz CHM-a te o samoj kvaliteti i točnosti CHM-a, odnosno DTM-a i DSM-a.

Kvaliteta fotogrametrijskoga DSM-a ovisi o korištenom algoritmu odnosno metodi slikovne korelacije, kvaliteti aerosnimaka (npr. geometrijska, radiometrijska, spektralna rezolucija), karakteristikama aerosnimanja (npr. uzdužni/poprečni preklap, vremenski uvjeti, dnevno vrijeme aerosnimanja, kutu upadanja sunčanih zraka itd.) te karakteristikama objekata/vegetacije na aerosnimkama (Baltsavias i dr. 2008, St-Onge i dr. 2008). Budući da je šuma vrlo heterogen sustav, DSM šumskih područja često je slabije kvalitete, odnosno manje točnosti nego DSM nekoga otvorenoga područja (bez objekata i pokrova), s izgrađenim objektima ili travnatom vegetacijom (Hoby i Ginzler 2012, Balenović i dr. 2015, Ginzler i Hoby 2015).

Za izradu DSM-a visoke prostorne rezolucije potrebno je značajno vrijeme procesiranja, osobito ako se radi o većim šumskim površinama. Cijena informatičke infrastrukture (procesorsko vrijeme, diskovni prostor) donedavno je ograničavala značajniju primjenu u šumarstvu. Posljedica toga jest da su detaljnija istraživanja o kvaliteti, odnosno o točnosti DSM-a u šumskim područjima rijetka. Primjerice, nedovoljno je istražen utjecaj prostorne rezolucije fotogrametrijskoga DSM-a na njegovu točnost.

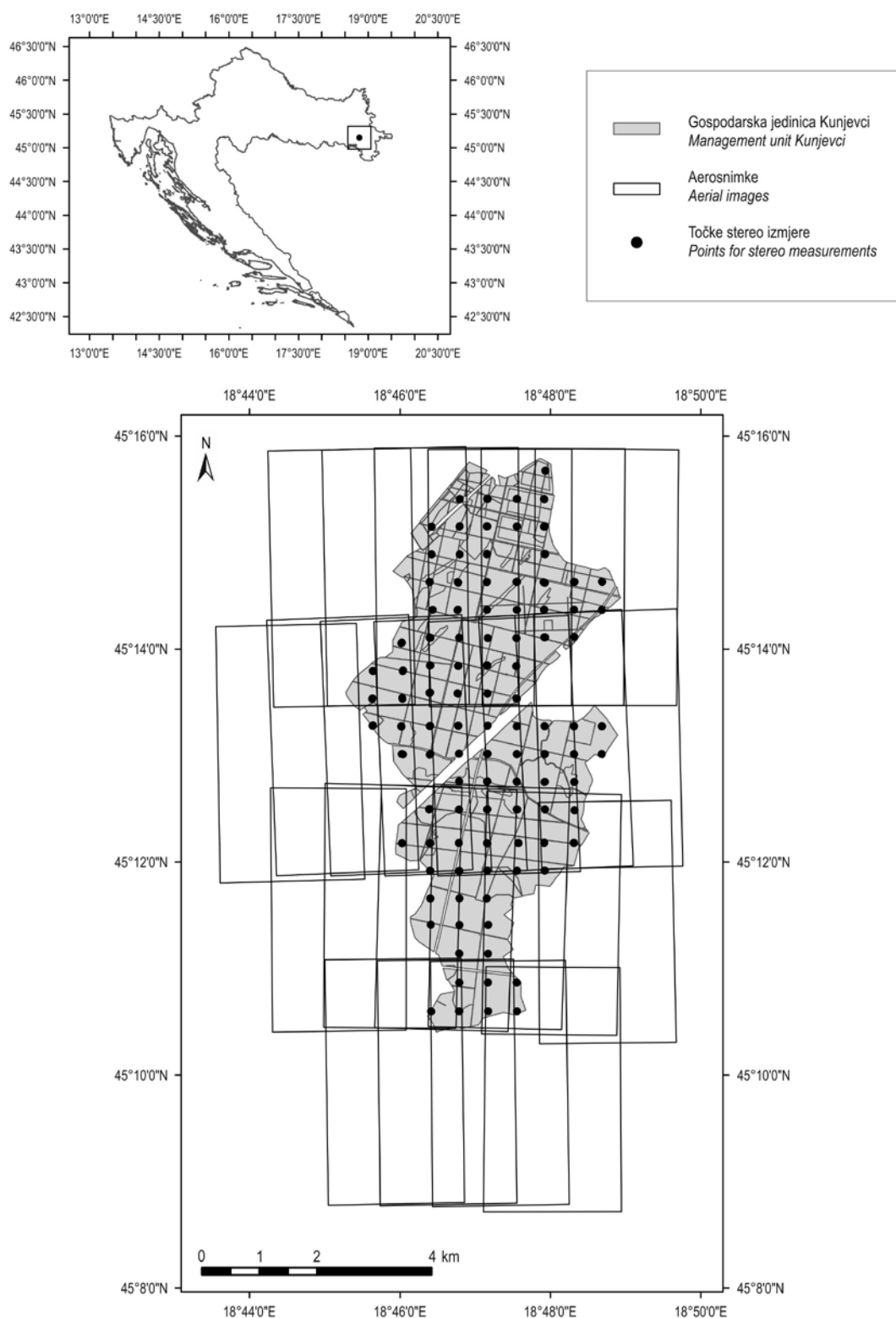
Cilj je ovoga rada ispitati vertikalnu točnost DSM-ova različite prostorne rezolucije na šumskom području radi odabira optimalne rezolucije za primjenu u šumarstvu.

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

### 2.1 Područje istraživanja – *Study area*

Istraživanje je provedeno u nizinskim šumama hrasta lužnjaka gospodarske jedinice Kunjevci (Uprava šuma Podružnica Vinkovci) smještene u istočnom





**Slika 1.** Položaj gospodarske jedinice Kunjevci (gore, manja slika). Područje istraživanja s prostornim rasporedom (blokovima) aerosnimaka i prostornim rasporedom točaka za manualnu stereofotogrametrijsku izmjeru (dolje)

**Fig. 1** Geographic location of the management unit Kunjevci (upper small image). Study area with the spatial distribution of aerial images and points for manual stereophotogrammetric measurement (bellow)

dijelu Hrvatske, u neposrednoj blizini Vinkovaca. Istraživanjem je obuhvaćeno 70 odsjeka uređajnog razreda hrasta lužnjaka svih dobnih razreda (I–VII) ukupne površine 1869,33 ha (slika 1). Jednodobne sastojine hrasta lužnjaka na odabranom području uglavnom su mješovite, a u manjoj mjeri čiste. Uz hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) od ostalih vrsta drveća u značajnoj mjeri prisutni su obični grab (*Carpinus betulus* L.), poljski jasen (*Fraxinus angustifolia* L.) i američki jasen (*Fraxinus americana* L.), dok se vez (*Ulmus laevis* Pall.), klen (*Acer campestre* L.), divlja trešnja (*Prunus avium* L.), crna joha (*Alnus glutinosa* Gaertn.), lipe (*Tilia* sp.) i domaće topole (*Populus* sp.) pojavljuju sporadično. Sastojine su uglavnom na I., a u manjoj mjeri na II. bonitetu staništa. Strukturna obilježja za 70 odabranih sastojina područja istraživanja po dobnim razredima i ukupno prikazani su u tablici 1. Nadmorska visina odabranoga područja kreće se u rasponu od 79 do 87 m.

## 2.2 Digitalne aerosnimke – *Digital aerial images*

U ovom su istraživanju za izradu DSM-ova korištene digitalne infracrvene kolorne (ICK) aerosnimke

snimljene digitalnom aerofotogrametrijskom kamerom velikoga formata »Intergraph Z/I Imaging Digital Mapping Camera« (DMC) (Hinz i dr. 2001). Aerosnimke su prikupljene tijekom vegetacijskoga razdoblja (srpanj, kolovoz) 2011. godine u okviru regularnoga topografskoga aerosnimanja Republike Hrvatske. Područje istraživanja pokriveno je s ukupno 23 aerosnimke prostorne rezolucije 0,32 m (GSD – prema engl. *Ground Sample Distance*) snimljene u četiri niza s uzdužnim preklapom od 60 % i poprečnim preklapom od 30 % (slika 1). Pomoću tehnologije GPS/IMU korištene tijekom aerosnimanja svakoj snimci zabilježena je precizna pozicija projekcijskoga središta te parametri vanjske orijentacije. Prikupljeni sirovi slikovni podaci potom su naknadno procesirani u postupcima radiometrijske i geometrijske korekcije te spajanja pankromatskih i multispektralnih aerosnimaka (engl. *pan-sharpening*) od izvođača aerosnimanja (Geodetski zavod d.d. Osijek, Hrvatska), a prema specifikaciji proizvoda 301D130 Državne geodetske uprave. Također, provedena je i aerotriangulacija (orijentacija) aerosnimaka koja je ispitana pomoću kontrolnih točaka. Pre-

**Tablica 1.** Srednje vrijednosti i raspon vrijednosti (u zagradama) osnovnih strukturnih elemenata sastojina po dobnim razredima i ukupno za 70 odabranih sastojina prema Osnovi gospodarenja za razdoblje važnosti od 2012. do 2021. godine. Inventura šuma provedena je tijekom 2010. i 2011. te podaci pokazuju stanje na početku 2012. godine

**Table 1** The average values and ranges (in brackets) of basic stand structural parameters of 70 stands grouped in age classes obtained from applicable Forest Management Plan for the period 2012 to 2021. The inventory was conducted during 2010 and 2011, and the data present the situation at the beginning of 2012

Dobni razred Age class	Dob Age	Broj sastojina Number of stands	Površina Area	Srednji promjer Mean dbh	Srednja visina Mean height	Broj stabala Stand density	Temeljnica Basal area	Obujam Volume
	Godine Years	N	ha	cm	cm	Stabla/ha Trees/ha	m <sup>2</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha
I	0–20	9	326,75	–	–	–	–	–
II	21–40	13	447,4	14,8 (12,8–17,3)	16,1 (14,2–17,1)	783 (482–1103)	14,1 (6,4–21,2)	115,1 (49,8–188,3)
III	41–60	5	179,18	18,0 (16,3–19,2)	19,6 (18,9–19,9)	892 (827–969)	22,6 (20,1–26,2)	228,8 (196,1–260,3)
IV	61–80	5	92,7	26,7 (23,9–29,0)	23,6 (22,9–24,6)	461 (389–562)	25,6 (23,8–27,9)	339,6 (311,5–380,8)
V	81–100	12	159,76	30,9 (26,5–42,9)	24,3 (22,1–29,0)	389 (219–532)	28,0 (24,4–31,5)	413,2 (332,0–524,4)
VI	101–120	16	357,33	32,8 (28,2–37,3)	24,5 (21,8–26,5)	350 (244–432)	29,1 (24,9–32,8)	443,4 (377,5–528,2)
VII	121–140	10	306,21	34,0 (30,3–37,8)	24,1 (22,2–27,3)	335 (288–485)	30,1 (27,0–35,1)	475,5 (403,6–571,0)
Ukupno* Total*	–	70	1869,33	27,1 (12,8–42,9)	19,3 (14,2–29,0)	437 (219–1103)	21,8 (6,4–35,1)	302,1 (49,8–571,0)

\* Ukupne vrijednosti iskazane su bez sastojina I. dobnoga razreda – Total values are presented without stands of age class I



ma specifikaciji proizvoda 301D130 horizontalna točnost aerotriangulacije iznosila je  $RMSE_{x,y} < 0,25$  m, a vertikalna  $RMSE_z < 0,30$  m. Zajedno s digitalnim ICK aerosnimkama od Državne geodetske uprave dostavljeni su nam i parametri unutarnje i vanjske orijentacije potrebni za daljnje procesiranje.

### 2.3 Izrada digitalnih modela površine *Generation of digital surface models*

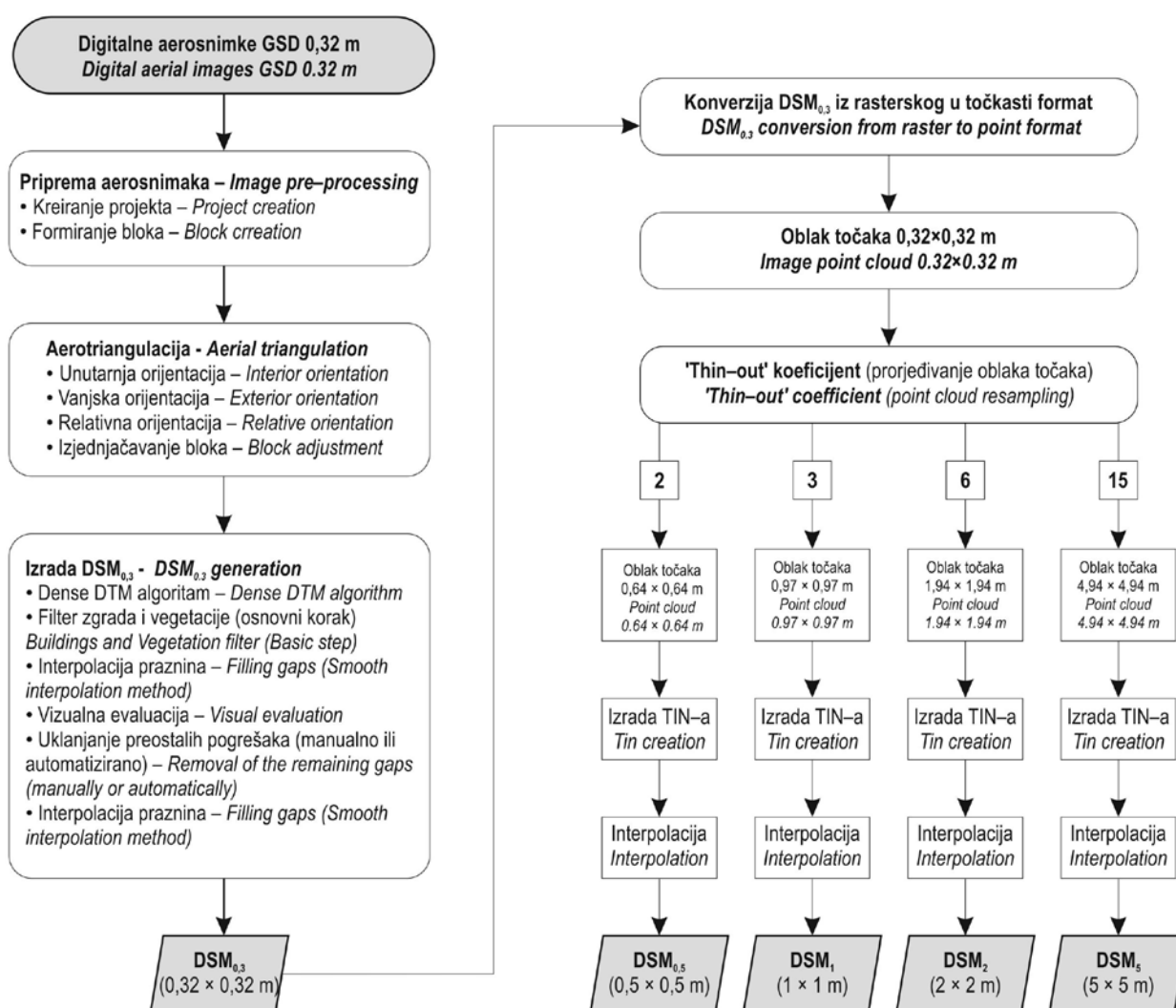
Cjelokupni postupak izrade DSM-a proveden je na digitalnoj fotogrametrijskoj stanici korištenjem digitalnoga fotogrametrijskoga sustava PHOTOMOD 5.24 (Racurs Co., Moskva, Rusija). Konfiguracija hardverskih komponenti digitalne fotogrametrijske stanice prikazana je u radu Balenović i dr. (2015). PHOTOMOD 5.24 je modularni sustav, tj. sastoji se od niza modula koji omogućuju izvođenje raznih fotogrametrijskih postupaka.

Postupak izrade DSM-ova različite prostorne rezolucije shematski je prikazan na slici 2. Prije same izrade DSM-ova provedeni su postupci pripreme i orijentacije (aerotriangulacije) aerosnimaka. Priprema aerosnimaka za fotogrametrijsko procesiranje koja obuhvaća kreiranje projekta (definiranje projekcije, minimalne i maksimalne nadmorske visine područja) i formiranje bloka aerosnimaka (unos i pozicioniranje aerosnimaka) provedena je u modulu PHOTOMOD Core. Zatim je slijedila orijentacija snimaka odnosno aerotriangulacija koja je provedena postupcima unutarnje, vanjske i relativne orijentacije te izjednačenjem bloka aerosnimaka u modulu PHOTOMOD AT. Parametri unutarnje orijentacije kamere korišteni za aerotriangulaciju su: veličina piksela, žarišna duljina kamere, koordinate glavne točke snimke te distorzija objektiva, a dostupni su u kalibracijskom izvješću kamere. Vanjska je orijentacija provedena unosom parametara zabilježenih tijekom aerosnimanja. Parametri vanjske orijentacije su koordinate projekcijskih središta snimaka ( $x, y, z$ ) i kutovi rotacije ( $\omega, \varphi, \kappa$ ) u trenutku snimanja (ekspozicije). Relativna orijentacija aerosnimaka, odnosno međusobna orijentacija susjednih snimaka bloka provedena je automatskim mjerenjem veznih točaka. Također, kako bi se povećala točnost relativne orijentacije ručno je dodano niz veznih točaka. Naposljetku, izjednačenje bloka aerosnimaka provedeno je metodom zrakovnoga snopa (engl. *bundle block adjustment*) u modulu PHOTOMOD Solver. Ulazni elementi za izjednačenje bile su slikovne koordinate svih veznih točaka, parametri unutarnje i vanjske orijentacije. Rezultati izjednačenja bili su unutar zadanih maksimalnih odstupanja ( $RMSE_{x,y} < 0,25$  m,  $RMSE_z < 0,3$  m).

DSM-ovi su izrađeni prema metodologiji opisanoj u radu Balenović i dr. (2015). Ukratko, prije same iz-

rade definirano je područje za izradu DSM-a koje mora biti unutar preklopa aerosnimaka. Za izradu DSM-a korišten je algoritam Dense DTM u modulu PHOTOMOD DTM. Dense DTM je algoritam slikovne korelacije temeljene na plošnim podacima koji radi tako da primjenom unakrsne korelacije (engl. *cross-correlation*) računa koordinate korespondentnih piksela svih točaka u području preklopa dviju ili više aerosnimaka. S obzirom na to da se računaju koordinate za svaki piksel, rezolucija tako dobivenoga DSM-a odgovara rezoluciji aerosnimaka.

Najprije je izrađen tzv. preliminarni DSM korištenjem unaprijed zadanih osnovnih i dodatnih postavki (parametara) slikovne korelacije. Opis korištenih parametara i njihove vrijednosti dane su u radu Balenović i dr. (2015). U postupku slikovne korelacije i izrade DSM-a može doći do pogrešaka (engl. *matching errors*), bilo kao posljedica primijenjenoga algoritma i kvalitete aerosnimaka (St-Onge i dr. 2008) ili karakteristika snimljene površine (Baltsavias i dr. 2008). Kada se radi DSM za šumska područja, pogreške uglavnom nastaju zbog složene strukture (teksture) šuma, i to ponajprije zbog sjena na aerosnimkama (npr. uz rub šume ili u progalama), strmih nagiba i velikih visinskih razlika (npr. između dvaju susjednih stabala različitih visina) (St-Onge i dr. 2008, Honkavaara i dr. 2012, Nurminen i dr. 2013, White i dr. 2013). Vizualnom evaluacijom DSM-a utvrđene su pogreške koje se očituju kao šiljci (engl. *spikes*) ili male površine čija je nadmorska visina značajno niža od okolice te ih je bilo lako uočiti. Za uklanjanje nastalih pogrešaka primijenjen je PHOTOMOD-ov algoritam »Filter zgrada i vegetacije« (engl. *Buildings and vegetation filter*), odnosno njegov prvi korak koji služi upravo za uklanjanje takvih pogrešaka. Praznine u DSM-u nastale filtriranjem popunjene su interpolacijom (engl. *smooth interpolation method*). Naposljetku, preostale pogreške koje nisu uklonjene primjenom »Filtera zgrada i vegetacije« izdvojene su ručno te su nastale praznine ponovno popunjene postupkom interpolacije. Kao rezultat opisanoga postupka za područje istraživanja izrađen je rasterski DSM prostorne rezolucije 0,32 m (u daljnjem tekstu DSM<sub>0,3</sub>). Radi izrade DSM-ova prostornih rezolucija 0,5 m, 1 m, 2 m i 5 m DSM<sub>0,3</sub> je konvertiran iz rasterskoga u točkasti format. Potom je tako dobiven oblak točaka međusobnoga razmaka 0,32 m prorjeđivan pomoću naredbe »thin-out coefficient«, i to pomoću koeficijenata prorjeđivanja 2, 3, 6 i 15, te su dobiveni oblaci točaka međusobnoga razmaka 0,64 m, 0,97 m, 1,94 m i 4,94 m. Zatim su iz svakoga oblaka točaka izrađene mreže, tj. TIN (nepravilna mreža trokuta, engl. *triangulated irregular network*), koje su potom interpolirane u rasterske DSM-ove prostorne rezolucije 0,5 m (DSM<sub>0,5</sub>), 1 m (DSM<sub>1</sub>), 2 m (DSM<sub>2</sub>) i 5 m (DSM<sub>5</sub>).



**Slika 2.** Postupak izrade digitalnih modela površine (DSM) različitih prostornih rezolucija

**Fig. 2** Methodological workflow of the generation of DSMs of different spatial resolutions

## 2.4 Stereofotogrametrijska izmjera

### Stereophotogrammetric measurement

Za ocjenu vertikalne točnosti DSM-ova različite prostorne rezolucije upotrijebljeni su podaci manualne stereofotogrametrijske izmjere (Hoby i Ginzler 2012, Ginzler i Hoby 2015, Balenović i dr. 2015). Manualna stereofotogrametrijska izmjera provedena je u modulu PHOTOMOD StereoDraw na sistematskom uzorku mreže točaka ( $500 \times 500$  m) na istim aerosnimkama koje su korištene i za izradu DSM-a (slika 1). Stereovizualizacija i stereoizmjera omogućena je pomoću sustava za stereoskopsko promatranje koji čine grafička kartica, stereomonitor i stereonaočale. Na svakoj točki uzorka fotointerpretator je izmjerio vrh trima stablima najbližima točki mreže uzorka. Vrh svakoga stabla

određen je polaganjem stereomarkera na vrh krošnje te je zabilježen točkastim objektom s pripadajućim koordinatama  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Ukupno je stereofotogrametrijski izmjereno 98 točaka, odnosno 294 točke nadmorske visine vrhova stabala.

## 2.5 Analiza podataka – Data analysis

Analiza vertikalne točnosti DSM-ova različite prostorne rezolucije provedena je usporedbom točaka nadmorske visine vrhova stabala izmjerenih manualnom stereofotogrametrijskom izmjerom i njima korepodentnih točaka nadmorske visine očitanih s DSM-ova (DSM<sub>0,3</sub>, DSM<sub>0,5</sub>, DSM<sub>1</sub>, DSM<sub>2</sub> i DSM<sub>5</sub>). U tu su svrhu izračunate ove mjere odstupanja: korijen srednje kvadratne pogreške (RMSE, prema engl. *root mean*



square error), srednja pogreška (ME, prema engl. *mean error*) i standardna devijacija odstupanja (SD, prema engl. *standard deviation*), i to prema ovim formulama:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{z}_i - z_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{z}_i - z_i)}{n} \quad (2)$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((\hat{z}_i - z_i) - \mu)^2}{n-1}} \quad (3)$$

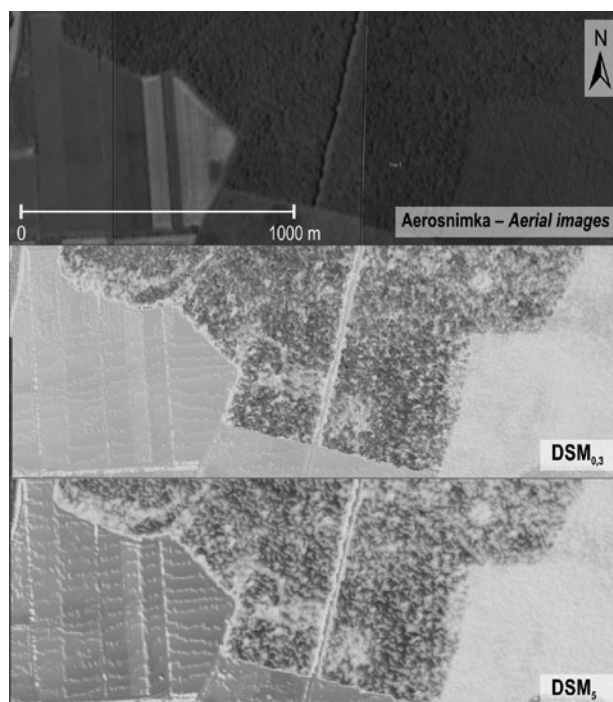
gdje je:

- $\hat{z}_i$  nadmorska visina točke odnosno vrha stabla  $i$  očitana s DSM-a
- $z_i$  nadmorska visina točke odnosno vrha stabla  $i$  izmjerena manualnom stereofotogrametrijskom izmjerom
- $n$  broj točaka (vrhova stabala).

Navedene mjere odstupanja uobičajeno se koriste za ocjenu točnosti DMT-a (Höhle i Höhle 2009, Stereńczak i dr. 2013) i DSM-a (Ginzler i Hoby 2015, Balenović i dr. 2015). Mjere odstupanja izračunate su za svaki DSM za cijelo područje istraživanja ukupno i po dobnim razredima. Osim mjera odstupanja za svaki je DSM iskazan i raspon odstupanja odnosno vrijednosti maksimalnoga pozitivnoga (maks.) te maksimalnoga negativnoga (min.) odstupanja. Analiza i obrada podataka provedena je u programskom paketu STATISTICA 7.1 (Hill i Lewicki 2007).

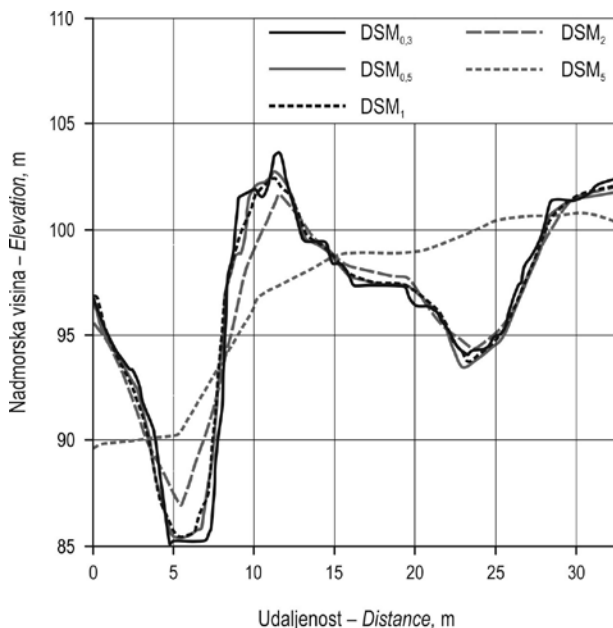
### 3. Rezultati s raspravom – Results with discussion

Prema očekivanjima vizualnom evaluacijom izrađenih DSM-ova različite prostorne rezolucije utvrđeno je kako DSM<sub>0,3</sub> pruža najveću razlučivost detalja (npr. pojedinačno stablo) koja se postupno smanjuje sa snižavanjem prostorne rezolucije, tako da je u konačnici na DSM<sub>5</sub> moguće razlučiti jedino veće oblike (npr. grupe stabala) (slika 3). Vertikalni profil DSM-ova kroz šumsku sastojinu na dijelu područja istraživanja zorno prikazuje da DSM-ovi više prostorne rezolucije pružaju mnogo više informacija o vertikalnoj strukturi sastojina (slika 4). Primjerice, veće praznine između krošnja u sastojinama vidljive su na svim DSM-ovima, dok su manje praznine u sastojinama izražene i vidljive samo na DSM-ovima više prostorne rezolucije



**Slika 3.** Primjeri (isječci) izrađenih DSM-ova najviše (DSM<sub>0,3</sub>) i najniže (DSM<sub>5</sub>) prostorne rezolucije

**Fig. 3** The examples of the generated DSMs of the highest (DSM<sub>0,3</sub>) and lowest (DSM<sub>5</sub>) spatial resolution



**Slika 4.** Vertikalni profil DSM-ova različite prostorne rezolucije kroz šumsku sastojinu na dijelu područja istraživanja

**Fig. 4** The vertical profile of DSMs of different spatial resolution through the forest stand in the research area

(DSM<sub>0,3</sub>, DSM<sub>0,5</sub>). Do sličnih zaključaka dolaze i Hoby i Ginzler (2012) koji su uspoređivali vertikalni profil DSM-ova prostorne rezolucije 1 m izrađenih iz ADS80 aerosnimaka GSD 0,25 m i WorldView-2 satelitskih snimaka GSD 0,5 m (pankromatske) i GSD 1,38 m (multispektralne).

Rezultati analize vertikalne točnosti DSM-ova različite prostorne rezolucije dobiveni usporedbom točaka nadmorske visine vrhova stabala izmjerenih manualnom stereofotogrametrijskom izmjerom i nadmorske visine prostorno ( $x, y$ ) korespondentnih točaka očitanih s DSM-ova (DSM<sub>0,3</sub>, DSM<sub>0,5</sub>, DSM<sub>1</sub>, DSM<sub>2</sub> i DSM<sub>5</sub>) prikazani su u tablici 2. Ukupno su izmjerene 294 točke nadmorske visine vrhova stabala sustavno raspoređenih preko cijeloga područja istraživanja (I. dobni razred = 42 stabla, II. d. r. = 66 st., III. d. r. = 30 st., IV. d. r. = 15 st., V. d. r. = 36 st., VI. d. r. = 66 st., VII. d. r. = 39 st.). Sukladno očekivanjima, najveća točnost, odnosno najmanja pogreška (RMSE, ME, SD, raspon odstupanja), dobivena je za DSM najviše prostorne rezolucije (DSM<sub>0,3</sub>). Međutim, gotovo jednaka vertikalna točnost dobivena je za DSM<sub>0,5</sub> i DSM<sub>1</sub>. Nešto slabiji rezultati dobiveni su za DSM<sub>2</sub>, dok su najslabiji rezultati, odnosno najmanja točnost i najveća pogreška ostvareni za DSM<sub>5</sub>.

Dobiveni rezultati u skladu su s rezultatima prethodnoga istraživanja (Balenović i dr. 2015) u okviru kojega je DSM prostorne rezolucije 0,3 m izrađen za područje raznodobnih šumoposjedničkih šuma središnje Hrvatske iz UltraCamX aerosnimaka GSD 0,3 m te korištenjem istoga algoritma slikovne korel-

acije (Dense DTM). Balenović i dr. (2015) također su procjenjivali vertikalnu točnost izrađenoga DSM-a na temelju podataka manualne stereoizmjere i za područje mješovitih raznodobnih šuma dobili ove rezultate: RMSE = 0,62 m, ME = -0,62 m, SD = 0,44 m. Nadalje, u usporedbi s rezultatima ovoga istraživanja Hoby i Ginzler (2012) i Ginzler i Hoby (2015) dobili su nešto veća odstupanja. Hoby i Ginzler (2012) za brežuljkasto šumsko područje istočne Švicarske ispitali su vertikalnu točnost DSM-a prostorne rezolucije 1 m izrađenoga iz ADS80 aerosnimaka GSD 0,25 m koja je u odnosu na manualnu stereoizmjernu iznosila RMSE = 2,63 m. U sljedećem istraživanju Ginzler i Hoby (2015) iz ADS80 aerosnimaka GSD 0,25 m, koje su pokrivala brežuljkasti dio Švicarske, te ADS80 aerosnimaka GSD 0,5 m, koje su pokrivala planinski dio Švicarske, izradili su DSM prostorne rezolucije 1 m te u odnosu na manualnu stereoizmjernu dobili vertikalnu pogrešku (RMSE) u rasponu od 3,34 do 5,54 m ovisno o tipu šume (četinjače, listače). Razlozi većih odstupanja najvjerojatnije leže u činjenici da su oba navedena istraživanja provedena na brežuljkastom i planinskom području heterogene šumske strukture te je istraživanjima obuhvaćena mnogo veća površina.

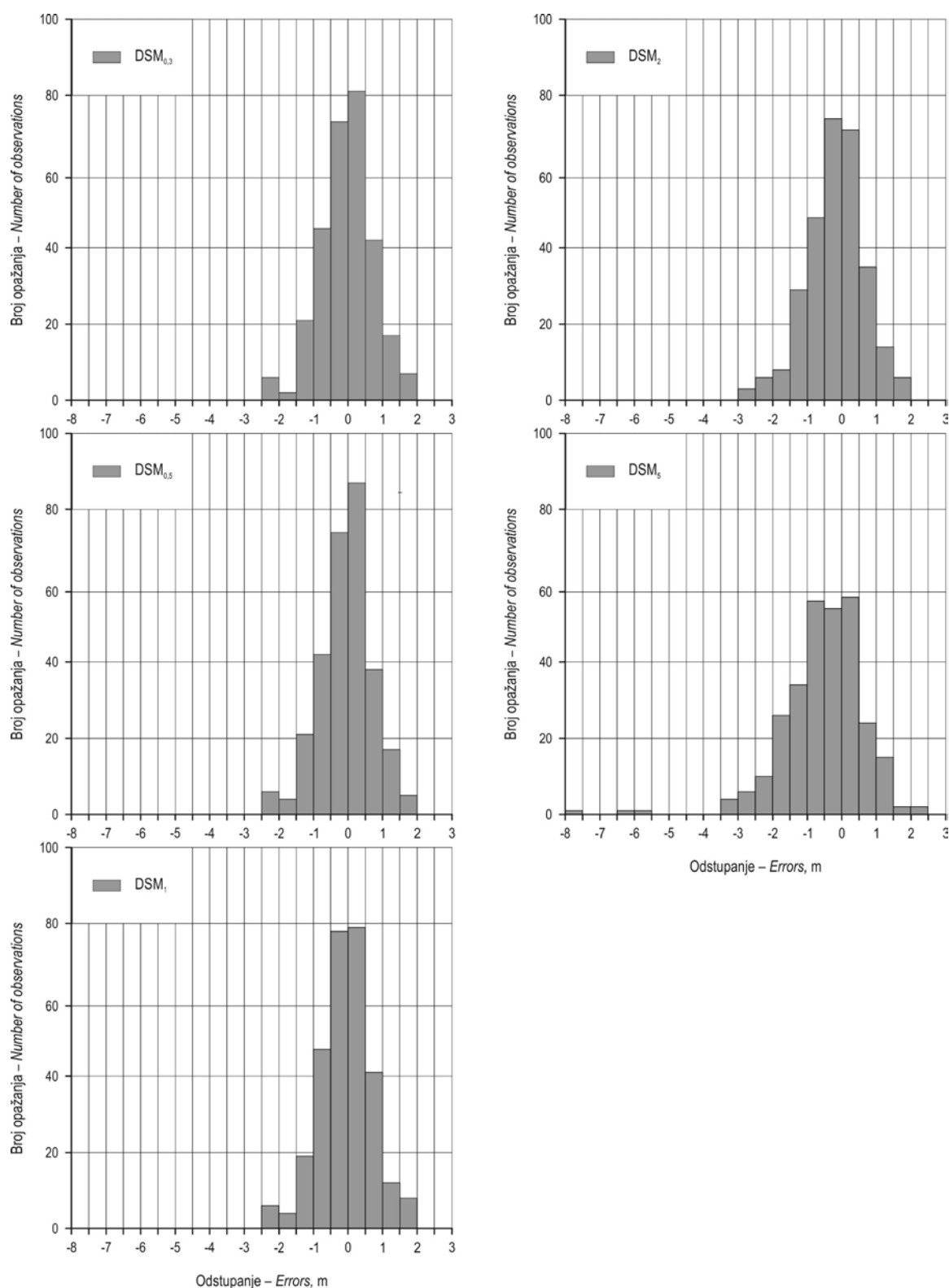
Za sve DSM-ove dobivene su negativne vrijednosti srednje pogreške (ME) (tablica 2) koje ukazuju na podcjenjivanje nadmorske visine vrhova stabala očitane s DSM-ova u odnosu na nadmorsku visinu dobivenu stereoizmjerom. Za DSM<sub>0,3</sub>, DSM<sub>0,5</sub>, DSM<sub>1</sub> i DSM<sub>2</sub> dobivene su vrlo male negativne vrijednosti srednje pogreške u rasponu od -0,07 do -0,16 m, što upućuje na neznatno podcjenjivanje nadmorske visine. Potvrda tomu su i histogrami na slici 5 koji prikazuju distribuciju odstupanja nadmorske visine vrhova stabala očitane s DSM<sub>0,3</sub>, DSM<sub>0,5</sub>, DSM<sub>1</sub> i DSM<sub>2</sub> u odnosu na nadmorsku visinu dobivenu stereoizmjerom. Iako su sve distribucije pogrešaka blago negativno skošene, provedenim Shapiro-Wilksovim testom normalnosti (alfa razina  $p = 0,05$ ) utvrđeno je kako se ni za jednu od njih ne može odbaciti nulta hipoteza da su te distribucije normalne. Nasuprot tomu, za DSM<sub>5</sub> dobivena srednja pogreška od -0,56 m (tablica 2) te histogram pojedinačnih odstupanja (slika 5) upućuju na znatno učestalije podcjenjivanje nadmorske visine očitane s DSM<sub>5</sub> (jača negativna skošenost distribucije pogrešaka). Prema autorima Baltsavias i dr. (2008) fotogrametrijski DSM-ovi izrađeni iz aerosnimaka uvijek imaju tendenciju podcjenjivanja stvarne visine kao posljedica postupka zaglađivanja površine (engl. *surface smoothing*) tijekom slikovne korelacije. Jedan od glavnih razloga većega podcjenjivanja nadmorske visine očitane s DSM<sub>5</sub>, u usporedbi s podcjenjivanjem visine očitane s DSM<sub>0,3</sub>, DSM<sub>0,5</sub>, DSM<sub>1</sub> i DSM<sub>2</sub>, značajnije je prorjeđivanje oblaka točaka iz kojih je izrađen TIN

**Tablica 2.** Vertikalna točnost DSM-ova različite prostorne rezolucije (DSM<sub>0,3</sub>, DSM<sub>0,5</sub>, DSM<sub>1</sub>, DSM<sub>2</sub>, DSM<sub>5</sub>) procijenjena na temelju podataka manualne stereofotogrametrijske izmjere (RMSE – korijen srednje kvadratne pogreške, ME – srednja pogreška, SD – standardna devijacija)

**Table 2** The vertical accuracy of DSMs of different spatial resolutions (DSM<sub>0,3</sub>, DSM<sub>0,5</sub>, DSM<sub>1</sub>, DSM<sub>2</sub>, DSM<sub>5</sub>) evaluated with manual stereo measurements (RMSE – root mean square error, ME – mean error, SD – standard deviation)

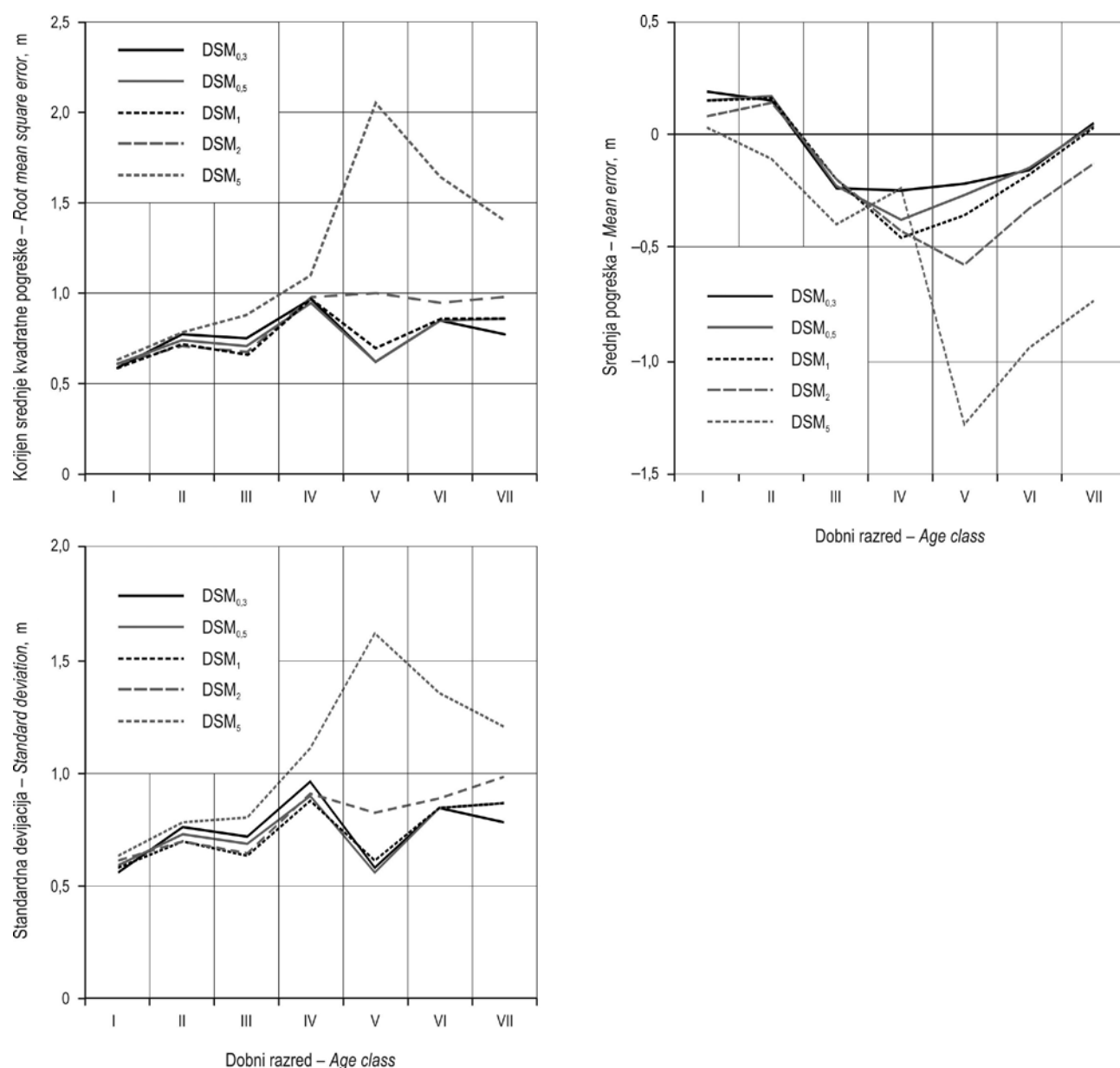
Digitalni model površine <i>Digital surface model</i>	RMSE m	ME m	SD m	Raspon odstupanja <i>Range of errors</i>	
				Min. m	Maks. m
DSM <sub>0,3</sub>	0,76	-0,03	0,76	-2,42	1,88
DSM <sub>0,5</sub>	0,76	-0,05	0,76	-2,47	1,89
DSM <sub>1</sub>	0,76	-0,07	0,76	-2,42	1,79
DSM <sub>2</sub>	0,84	-0,16	0,83	-2,71	1,70
DSM <sub>5</sub>	1,31	-0,54	1,19	-7,89	2,26





**Slika 5.** Histogrami pojedinačnih odstupanja nadmorske visine vrhova stabala očitane s DSM-ova različite prostorne rezolucije u odnosu na nadmorsku visinu dobivenu manualnom stereofotogrametrijskom izmjerom

**Fig. 5** Histograms of individual residuals between tree top elevations obtained from DSMs of different spatial resolution and by manual stereophotogrammetric measurement



**Slika 6.** Vertikalna točnost DSM-ova različitih prostornih rezolucija iskazana po dobnim razredima šumskih sastojina (RMSE – korijen srednje kvadratne pogreške, ME – srednja pogreška, SD – standardna devijacija)

**Fig. 6** The vertical accuracy of DSMs of different spatial resolutions according to age classes of forest stands (RMSE – root mean square error, ME – mean error, SD – standard deviation)

te potom interpolacijom DSM<sub>5</sub>. Osim toga, ako se radi o rjeđim sastojinama, tj. sastojinama u kojima su provedene sječe prethodnoga prihoda ili započete oplodne sječe, podcjenjivanje je izraženije jer dio točaka zbog veličine DSM<sub>5</sub> piksela obuhvaća i dio krošnje stabla i praznine među stablima. Upravo iz toga razloga dolazi do određenoga broja pojedinačnih podcjenjivanja nadmorske visine očitane s DSM<sub>5</sub> koja iznosi i do -7,89 m (tablica 2, slika 5). To je vidljivo i na

grafovima na slici 6 koja prikazuje vertikalnu točnost, odnosno pogreške DSM-ova, po dobnim razredima šumskih sastojina. Do najvećega podcjenjivanja nadmorske visine očitane s DSM<sub>5</sub> dolazi u sastojinama V., VI. i VII. d. r. Općenito, svi DSM-ovi u prosjeku pre-cjenjuju nadmorske visine u sastojinama I. i II. d. r. (uz izuzetak DSM<sub>5</sub> u sastojinama II. d. r.). Nadalje, od III. do VII. d. r. nadmorska visina očitana s DSM-ova podcjenjuje nadmorsku visinu dobivenu stereoeizmjerom.



Izuzetak čine  $DSM_{0,3}$ ,  $DSM_{0,5}$  i  $DSM_1$  na temelju kojih su u sastojinama VII. d. r. dobivene neznatno precijenjene vrijednosti nadmorske visine. Nadalje, promatrano kroz prizmu RMSE (slika 6) vidljivo je da  $DSM_{0,3}$ ,  $DSM_{0,5}$  i  $DSM_1$  imaju gotovo jednake pogreške procjene nadmorske visine u svim dobnim razredima te da ne postoji izražen trend rasta ili smanjenja pogreške s povećanjem dobnoga razreda odnosno promjenom strukturnih elemenata sastojina (dob, gustoća sastojina, srednji sastojinski promjer, srednja sastojinska visina, temeljnica, obujam). Nešto veći iznosi RMSE dobiveni su za  $DSM_2$ , a značajno veći za  $DSM_5$ . Kod  $DSM_2$  vidljiv je porast RMSE s povećanjem dobnoga razreda, dok je kod  $DSM_5$  također vidljiv porast RMSE do V. d. r. te smanjenjem prema VII. dobnomu razredu.

Na temelju dobivenih rezultata vidljivo je kako  $DSM_{0,5}$  i  $DSM_1$  pružaju mogućnost očitavanja nadmorske visine vrhova stabala s gotovo jednakom točnošću kao i izvorni  $DSM_{0,3}$ . Daljnjim smanjenjem rezolucije rasterskoga DSM-a smanjuje se i točnost dobivenih podataka, tako da  $DSM_2$  daje nešto slabije rezultate, dok najslabije rezultate daje digitalni model površine najniže prostorne rezolucije –  $DSM_5$ . Odabir prostorne rezolucije digitalnih modela površine za primjenu u inventuri šuma treba ovisiti u prvom redu o njegovoj namjeni, tj. o razini na kojoj će se prikupljati informacije o šumama. Ako će se DSM, u kombinaciji s DMR-om, koristiti za izradu CHM-a te pridobivanje informacija na razini pojedinačnih stabla (engl. *individual tree-based approach*) (Rahlf i dr. 2015, St-Onge i dr. 2015), tada je uputno koristiti DSM najveće moguće rezolucije. U ovom slučaju to je  $DSM_{0,3}$ , ali je svakako potrebno istražiti i mogućnost korištenja  $DSM_{0,5}$  za procjenu varijabli pojedinačnih stabala. Naime, svakim smanjenjem prostorne rezolucije znatno se olakšava i ubrzava izrada DSM-a i procesiranje prostornih podataka. Rezultati dobiveni ovim, kao i drugim istraživanjima (Straub i dr. 2013, White i dr. 2015, Puliti i dr. 2016), upućuju na to da bi za pridobivanje informacija na razini plohe (engl. *area-based approach*)  $DSM_{0,5}$  i  $DSM_1$  mogli pružiti zadovoljavajuće rezultate, dok je za pridobivanje informacija na razini sastojine dostatno koristiti  $DSM_1$  i  $DSM_2$ . S obzirom na dobivena značajna odstupanja uporaba je  $DSM_5$  upitna. Za potvrdu navedenoga daljnja istraživanja trebaju biti usmjerena na ispitivanje mogućnosti korištenja DSM-ova odnosno CHM-ova različitih prostornih rezolucija u inventuri šuma na različitim prostornim razinama (pojedinačno stablo, ploha, sastojina).

#### 4. Zaključci – Conclusions

U okviru ovoga istraživanja za područje nizinskih šuma hrasta lužnjaka (GJ Kunjevci, UŠP Vinkovci) iz-

rađeni su DSM-ovi različite prostorne rezolucije (0,3 m – 0,5 m –  $DSM_{0,5}$ , 1 m –  $DSM_1$ , 2 m –  $DSM_2$ , 5 m –  $DSM_5$ ) metodom slikovne korelacije digitalnih stereo-aerofotogrametriskih slika GSD 30 cm. Vertikalna točnost DSM-ova, ispitana usporedbom nadmorske visine vrhova stabala izmjerene manualnom stereofotogrametrijskom izmjerom i nadmorske visine očitane s DSM-ova, dobivena je za  $DSM_{0,3}$  (najmanji RMSE, ME, SD). Gotovo jednaka točnost dobivena je za  $DSM_{0,5}$  i  $DSM_1$ , nešto slabija za  $DSM_2$ , a najmanja za  $DSM_5$ . Također, za  $DSM_5$  dobivena su značajnija negativna odstupanja (podcjenjivanje) očitane nadmorske visine u usporedbi s manualnom stereoizmjerom. Iz dobivenih rezultata može se zaključiti da smanjivanje prostorne rezolucije (veličine piksela) rasterskih DSM-ova s 0,3 m na 1 m ne utječe značajno na vertikalnu točnost DSM-a, odnosno na točnost procjene nadmorske visine vrhova stabala. Daljnjim smanjivanjem prostorne rezolucije do 2 m, a osobito do 5 m, smanjuje se vertikalna točnost DSM-ova do razine koja dovodi u pitanje njihovu primjenjivost za procjenu visine stabala/sastojine. S obzirom na dobivene rezultate buduća istraživanja trebala bi dodatno ispitati mogućnosti primjene DSM-ova različite prostorne rezolucije u inventuri šuma, i to:  $DSM_{0,3}$  i  $DSM_{0,5}$  za pridobivanje informacija na razini pojedinačnih stabala,  $DSM_{0,5}$  i  $DSM_1$  na razini plohe te  $DSM_1$ ,  $DSM_2$  i  $DSM_5$  na razini sastojine.

#### Zahvala – Acknowledgments

Istraživanje je provedeno u sklopu projekta »Procjena i predviđanje produktivnosti šumskoga ekosustava objedinjavanjem terenskih izmjera, daljinskih istraživanja i modeliranja« – EFFeCTivity (UIP-11–2013–2492) koji financira Hrvatska zaklada za znanost.

#### 5. Literatura – References

- Balenović, I., H. Marjanović, D. Vuletić, E. Paladinić, M. Z. Ostrogović Sever, K. Indir, 2015: Quality assessment of high density digital surface model over different land cover classes. *Periodicum biologorum* 117(4): 459–470.
- Baltsavias, E., A. Gruen, H. Eisenbeiss, L. Zhang, L. T. Waser, 2008: High-quality image matching and automated generation of 3D tree models. *International Journal of Remote Sensing* 29(5): 1243–1259.
- Bohlin, J., J. Wallerman, J. E. S. Fransson, 2012: Forest variable estimation using photogrammetric matching of digital aerial images in combination with a high-resolution DEM. *Scandinavian Journal of Forest Research* 27(7): 692–699.
- Ginzler, C., M. L. Hobi, 2015: Countrywide Stereo-Image Matching for Updating Digital Surface Models in the Framework of the Swiss National Forest Inventory. *Remote Sensing* 7(4): 4343–4370.

- Gobakken, T., O. M. Bollandsås, E. Næsset, 2015: Comparing biophysical forest characteristics estimated from photogrammetric matching of aerial images and airborne laser scanning data. *Scandinavian Journal of Forest Research* 30(1): 73–86.
- Granhölm, A. E., A. Olsson, M. Nilsson, A. Allard, J. Holmgren, 2015: The potential of digital surface models based on aerial images for automated vegetation mapping. *International Journal of Remote Sensing* 36(7): 1855–1870.
- Guerra-Hernández, J., E. Bastos Görgens, J. García-Gutiérrez, L. C. Estraviz Rodríguez, M. Tomé, E. González-Ferreiro, 2016: Comparison of ALS based models for estimating aboveground biomass in three types of Mediterranean forest. *European Journal of Remote Sensing* 49: 185–204.
- Hill, T., P. Lewicki, 2007 *STATISTICS: Methods and Applications*. StatSoft, Tulsa, OK.
- Hinz, A., C. Dörstel, H. Heier, 2001: DMC – The digital sensor technology of Z/I imaging. *Proceedings of the Photogrammetric week 2001*. Institute for Photogrammetry, University of Stuttgart, Germany, 93–103.
- Hobi, M. L., C. Ginzler, 2012: Accuracy Assessment of Digital Surface Models Based on WorldView-2 and ADS80 Stereo Remote Sensing Data. *Sensors* 12(5): 6347–6368.
- Höhle, J., M. Höhle, 2009: Accuracy assessment of digital elevation models by means of robust statistical methods. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 64(4): 398–406.
- Honkavaara, E., L. Markelin, T. Rosnell, K. Nurminen, 2012: Influence of solar elevation in radiometric and geometric performance of multispectral photogrammetry. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 67: 13–26.
- Järndstedt, J., A. Pekkarinen, S. Tuominen, C. Ginzler, M. Holopainen, R. Viitala, 2012: Forest variable estimation using a high-resolution digital surface model. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 74: 78–84.
- Leberl, F., A. Irschara, T. Pock, P. Meixner, M. Gruber, S. Scholz, A. Wiechert, 2010: Point Clouds: Lidar versus 3D Vision. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 76(10): 1123–1134.
- Nurminen, K., M. Karjalainen, X. Yu, J. Hyypä, E. Honkavaara, 2013: Performance of dense digital surface models based on image matching in the estimation of plot-level forest variables. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 83: 104–115.
- Paparoditis, N., L. Polidori, 2002: Overview of digital surface models. *Digital photogrammetry* (U: Egels, Y., M. Kasser), Taylor and Francis, London, New York, 159–163.
- Pitt, D. G., M. Woods, M. Penner, 2014: A Comparison of Point Clouds Derived from Stereo Imagery and Airborne Laser Scanning for the Area-Based Estimation of Forest Inventory Attributes in Boreal Ontario. *Canadian Journal of Remote Sensing* 40(3): 214–232.
- Puliti, S., T. Gobakken, H. O. Ørka, E. Næsset, 2016: Assessing 3D point clouds from aerial photographs for species-specific forest inventories. *Scandinavian Journal of Forest Research*, doi: <http://dx.doi.org/10.1080/02827581.2016.1186727>
- Rahlf, J., J. Breidenbach, S. Solberg, E. Næsset, R. Astrup, 2014: Comparison of four types of 3D data for timber volume estimation. *Remote Sensing of Environment* 155: 325–333.
- Rahlf, J., J. Breidenbach, S. Solberg, R. Astrup, 2015: Forest Parameter Prediction Using an Image-Based Point Cloud: A Comparison of Semi-ITC with ABA. *Forests* 6(11): 4059–4071.
- Stepper, S., C. Straub, H. Pretzsch, 2015: Assessing height changes in a highly structured forest using regularly acquired aerial image data. *Forestry* 88(3): 304–316.
- Stereńczak, K., M. Zasada, M. Brach, 2013: The Accuracy Assessment of DTM Generated from LIDAR Data for Forest Area – a case Study for Scots Pine Stands in Poland. *Baltic Forestry* 19(2): 252–262.
- St-Onge, B., C. Véga, R.A. Fournier, Y. Hu, 2008: Mapping canopy height using a combination of digital stereo-photogrammetry and lidar. *International Journal of Remote Sensing* 29(11): 3343–3364.
- St-Onge, B., F. A. Audet, J. Bégin, 2015: Characterizing the Height Structure and Composition of a Boreal Forest Using an Individual Tree Crown Approach Applied to Photogrammetric Point Clouds. *Forests* 6(11): 3899–3922.
- Straub, C., C. Stepper, R. Seitz, L. T. Waser, 2013: Potential of UltraCamX stereo images for estimating timber volume and basal area at the plot level in mixed European forests. *Canadian Journal of Forest Research* 43(8): 731–741.
- Tanhuanpää, T., N. Saarinen, V. Kankare, K. Nurminen, M. Vastaranta, E. Honkavaara, M. Karjalainen, X. Yu, M. Holopainen, J. Hyypä, 2016: Evaluating the Performance of High-Altitude Aerial Image-Based Digital Surface Models in Detecting Individual Tree Crowns in Mature Boreal Forests. *Forests* 7(7): 143.
- White, J. C., M. A. Wulder, M. Vastaranta, N. C. Coops, D. Pitt, M. Woods, 2013: The utility of image-based point clouds for forest inventory: A comparison with airborne laser scanning. *Forests* 4(3): 518–536.
- White, J. C., C. Stepper, P. Tompalski, N. C. Coops, M. A. Wulder, 2015: Comparing ALS and Image-Based Point Cloud Metrics and Modelled Forest Inventory Attributes in a Complex Coastal Forest Environment. *Forests* 6(10): 3704–3732.

---

## Abstract

---

### *Selection of the Optimal Spatial Resolution Image-Based Digital Surface Models for Use in Forestry – Example from the Area of Lowland Oak Forests*

*In recent years, digital aerial photogrammetry has emerged as an alternative method to airborne laser scanning in three-dimensional modelling of forest areas, especially for the generation of digital surface models (DSMs). In forest inventory, DSM is usually used in combination with the corresponding digital terrain model for the generation of canopy height model (CHM), which is then used as a basis for deriving various tree and forest attributes.*

*The main aim of this research was to examine the vertical accuracy of DSMs of different spatial resolutions over the forest area, and with new findings contribute to the application of digital photogrammetry in forest science and practice. For that purpose, DSMs with spatial resolution (pixel size) of 0.3 m ( $DSM_{0.3}$ ), 0.5 m ( $DSM_{0.5}$ ), 1 m ( $DSM_1$ ), 2 m ( $DSM_2$ ) and 5 m ( $DSM_5$ ) were generated by image matching of digital aerial images for the area of lowland pedunculate oak forests (management unit Kunjevci, Forest Administration Vinkovci). The vertical accuracy of DSMs was evaluated by comparing manually stereo measured elevations of 294 tree tops with the elevations of planimetrically corresponding DSMs points.*

*As expected, the highest accuracy was obtained for  $DSM_{0.3}$  (root mean square error, RMSE = 0.76 m; mean error, ME = -0.03 m). Almost equal accuracy was obtained for  $DSM_{0.5}$  (RMSE = 0.76 m; ME = -0.05 m) and  $DSM_1$  (RMSE = 0.76 m; ME = -0.07 m), slightly lower for  $DSM_2$  (RMSE = 0.84 m; ME = -0.16 m), whereas the lowest accuracy was obtained for  $DSM_5$  (RMSE = 1.31 m; ME = -0.54 m).*

*The accuracy comparison showed that the decreasing of spatial resolution (pixel size) of raster based DSMs from 0.3 m to 1 m, does not significantly affect their vertical accuracy. With further decreasing of spatial resolution to 2 m, and especially to 5 m, the vertical accuracy of DSMs also decreases. In the light of the obtained results, further studies should be focused on research of possibilities of application of DSMs of different spatial resolution in forest inventory, namely:  $DSM_{0.3}$  and  $DSM_{0.5}$  for obtaining information at tree level,  $DSM_{0.5}$  and  $DSM_1$  at plot level, and  $DSM_1$ ,  $DSM_2$  and  $DSM_5$  at stand level.*

*Keywords: digital surface model (DSM), digital photogrammetry, aerial images, image matching, forest inventory*

---

#### Adresa autorâ – Authors' address:

Dr. sc. Ivan Balenović \*  
 e-pošta: ivanb@sumins.hr  
 Dr. sc. Hrvoje Marjanović  
 e-pošta: hrvojem@sumins.hr  
 Hrvatski šumarski institut  
 Zavod za uređivanje šuma i šumarsku ekonomiku  
 Trnjanska cesta 35  
 10 000 Zagreb  
 HRVATSKA

\* Glavni autor – Corresponding author

Primljeno (Received): 23. 08. 2016.  
 Prihvaćeno (Accepted): 13. 09. 2016.





# Fotogrametrijska procjena srednjih sastojinskih visina odvojeno po vrstama drveća u mješovitim sastojinama središnje Hrvatske

Ante Seletković, Marija Perić, Ivan Balenović

## Nacrtak – Abstract

U radu je ispitana točnost fotogrametrijske procjene srednje sastojinske visine odvojeno po glavnim vrstama drveća (hrast kitnjak, obična bukva, obični grab) na brežuljkastom području šumoposjedničkih šuma središnje Hrvatske. U istraživanju su korištene digitalne stereo-aerostimke prostorne rezolucije GSD 30 cm te digitalni vektorski podaci za izradu digitalnoga modela reljefa (DMR-a). Stereofotogrametrijska izmjera visine stabala provedena je na fotogrametrijskim ploham postavljenim na aerostimkama na temelju GPS-om snimljenih prostornih koordinata ( $x, y$ ) središta terenskih. Fotogrametrijska visina svakoga stabla na plohi izračunata je kao razlika nadmorske visine vrha stabla određena na aerostimkama i podnožja stabla dobivena iz DMR-a. Točnost fotogrametrijski procijenjene visine pojedinih vrsta drveća ispitana je usporedbom s referentnom terenski procijenjenom visinom. Radi toga je za svaki odsjek izračunata fotogrametrijski i terenski srednja sastojinska visina odvojeno po vrstama drveća. Srednja sastojinska visina izračunata je kao aritmetička sredina svih izmjerenih visina unutar odsjeka.

Za sve tri promatrane vrste drveća (hrast kitnjak, obična bukva, obični grab) dobivena su vrlo slična odstupanja fotogrametrijski procijenjene srednje sastojinske visine u odnosu na referentne terenske vrijednosti. Ipak, najtočniji rezultati dobiveni su za obični grab ( $MD = -1,97 \%$ ,  $RMSE_{\%} = 8,29 \%$ ), a nešto slabiji za običnu bukvu ( $MD = 2,16 \%$ ,  $RMSE_{\%} = 10,16 \%$ ) i hrast kitnjak ( $MD = 3,06 \%$ ,  $RMSE_{\%} = 10,27 \%$ ). Rezultati su istraživanja potvrdili veliku mogućnost primjene digitalnih aerostimaka visoke prostorne rezolucije u inventuri šuma, odnosno pri procjeni srednje sastojinske visine.

**Ključne riječi:** stereofotogrametrija, digitalne aerostimke, visina stabla, mješovite šumske sastojine, izmjera šuma

## 1. Uvod – Introduction

Visina stabala ima veliku važnost za kvantitativan opis stabla i sastojina (npr. određivanje boniteta staništa sastojine, procjena drvene zalihe, biomase, zaliha ugljika, rasta sastojine itd.) (Pranjić i Lukić 1997). Međutim, visinu stabala nije lako izmjeriti na terenu. U usporedbi s izmjerom prsnoga promjera stabala izmjera visine pod većim je utjecajima pogrešaka mjeritelja, koje su često uvjetovane vizualnim smetnjama pri točnom određivanju vrhova stabala. Osim klasičnih terenskih metoda visinu stabala i sastojina moguće je

procjenjivati i metodama daljinskih istraživanja (Van Laar i Akça 2007). Zasigurno najčešće primjenjivana metoda daljinskih istraživanja pri procjeni visine stabala jest stereofotogrametrijska izmjera aerostimaka. Danas, u doba digitalne fotogrametrije, mogu se razlikovati manualne (npr. Eid i dr. 2004, Magnusson i dr. 2007, Shimizu i dr. 2014, Balenović i dr. 2015, 2016) i automatizirane (npr. Korpela 2004, Bohlin i dr. 2012, White i dr. 2015) metode fotogrametrijske izmjere visine pojedinačnih stabala i šumskih sastojina korištenjem digitalnih stereo-aerostimaka. Ako se radi o manualnim metodama fotogrametrijske izmjere, visina

pojedinačnoga stabla dobije se kao razlika nadmorske visine vrha i podnožja stabla. Vrh se stabla određuje polaganjem stereomarkera na vrh krošnje, dok se podnožje stabla određuje polaganjem stereomarkera na vidljivi dio tla pokraj stabla (Magnusson i dr. 2007, Shimizu i dr. 2014) ili, ako je riječ o gustim sklopljenim sastojinama u kojima nije vidljivo tlo pokraj stabla, iz ortogonalne projekcije vrha stabla na pripadajući digitalni model reljefa (DMR) (Balenočić i dr. 2015, 2016).

Rezultati dosadašnjih istraživanja pokazali su velike mogućnosti primjene manualnih metoda fotogrametrijske izmjere digitalnih aerosnimaka u inventuri šuma, ponajprije za procjenu srednjih sastojinskih visina (Eid i dr. 2004, Magnusson i dr. 2007, Balenočić i dr. 2015, 2016). Međutim, u većini navedenih istraživanja promatrana je točnost procjene ukupne srednje sastojinske visine, dok mogućnost procjene srednje sastojinske visine pojedinih vrsta drveća u mješovitim sastojinama nije razmatrana. Stoga je ovaj rad nastavak dosadašnjih istraživanja (Balenočić i dr. 2015, 2016) te mu je cilj da se ispita mogućnost primjene fotogrametrijske izmjere aerosnimaka za procjenu srednje sastojinske visine odvojeno po vrstama drveća u mješovitim sastojinama šumoposjedničkih šuma središnje Hrvatske.

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

Istraživanje je provedeno u šumoposjedničkim šumama gospodarske jedinice Donja Kupčina – Pisarovina, koja je smještena u središnjem dijelu Hrvatske, 25 km južno od Zagreba. Istraživanjem je obuhvaćeno ukupno 14 odsjeka približne površine 480 ha (slika 1). Od toga 5 odsjeka pripada jednodobnim sastojinama hrasta kitnjaka (*Quercus petraea* L.), 6 odsjeka pripada raznodobnim sastojinama uređajnoga razreda obične bukve (*Fagus sylvatica* L.), a 3 raznodobnim sastojinama običnoga graba (*Carpinus betulus* L.). Osim glavnih vrsta drveća (hrast kitnjak, obična bukva, obični grab), u manjoj ili većoj mjeri pridolaze još crna joha (*Alnus glutinosa* [L.] Gaertn), divlja trešnja (*Prunus avium* L.), obični bagrem (*Robinia pseudoacacia* L.), trepetljika (*Populus tremula* L.), obična breza (*Betula pendula* Roth) i dr. Nadmorska visina područja istraživanja kreće se od 100 do 160 m, a nagibi su u rasponu od 0° do 30°.

Kao referentni podaci za usporedbu s rezultatima fotogrametrijske izmjere visine u radu su korišteni terenski podaci prikupljeni u sklopu redovite uređajne inventure šuma GJ tijekom proljeća i ljeta 2009. godine. Terenska izmjera provedena je prema tada važećemu Pravilniku o uređivanju šuma (NN 111/06, 141/08) na sistematskom uzorku (100 × 100 m, 100 × 200 m,

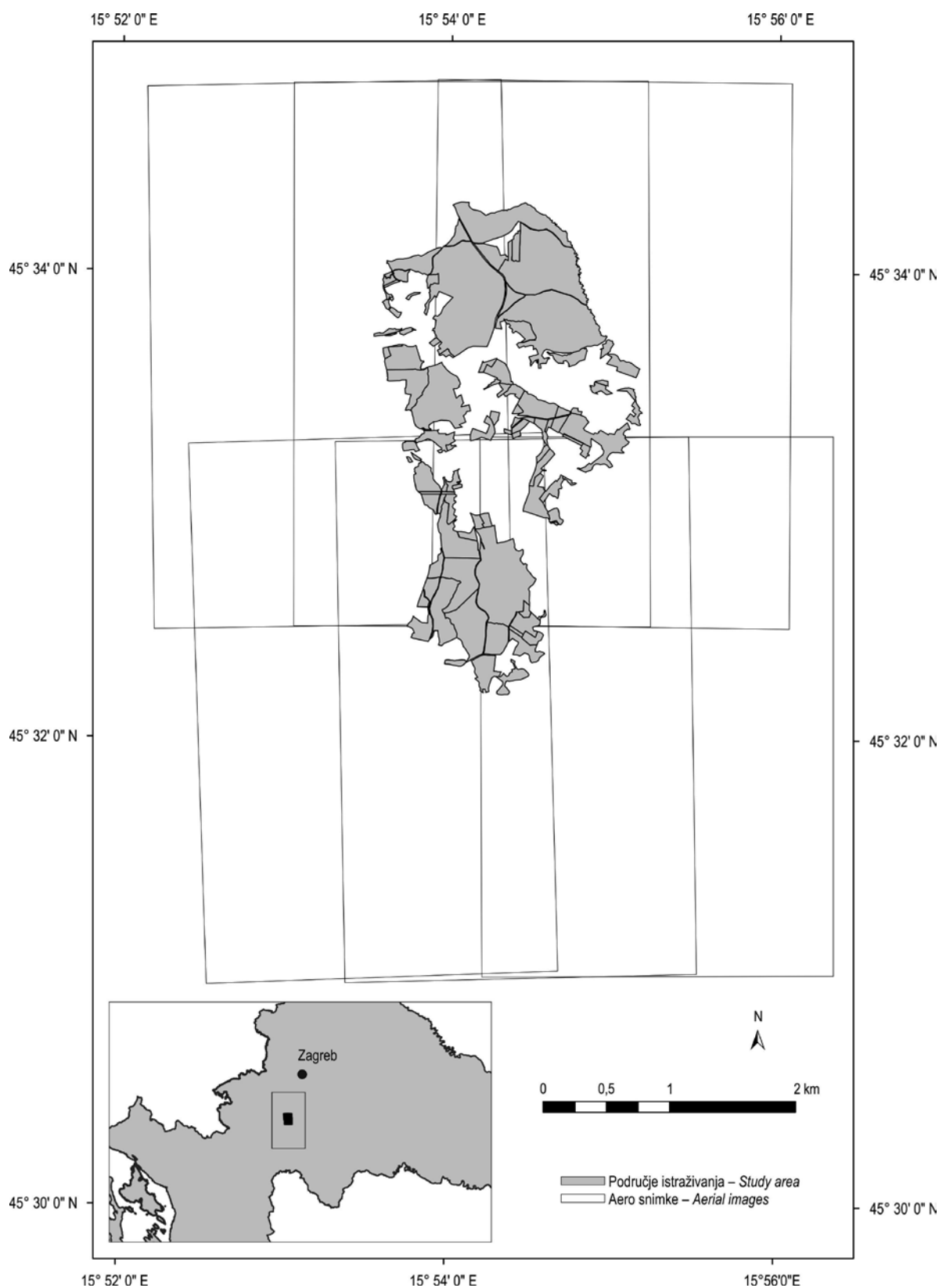
200 × 100 m) kružnih ploha radijusa 8 ili 12 m (ovisno o gustoći i dobi sastojina). Postavljene su 183 kružne plohe. Svim stablima na plohama iznad taksacijske granice od 10 cm mjereno je prsni promjer, dok je visina mjerena određenom broju stabala na području istraživanja na temelju čega su konstruirane lokalne visinske krivulje korištenjem Mihajlovljeve funkcije (Michailloff 1943). Visinske krivulje korištene su za izračun visine onih stabala kojima nije terenski izmjerena visina. Detaljan opis visinskih krivulja (uzorak stabala, parametri izjednačenja, koeficijenti determinacije, korijen srednje kvadratne pogreške) prikazan je u radu Balenočić i dr. (2015). Nadalje, prostorni položaji središta primjernih ploha ( $x$ ,  $y$  koordinate) snimljeni su s GPS-ovim prijamnikom (MobileMapper 6, Magellan Navigation Inc, Santa Clara, California, USA).

Za fotogrametrijsku izmjeru korištene su digitalne infracrvene kolorne (ICK) stereo-aerosnimke prostorne rezolucije GSD 30 cm (GSD – eng. *Ground Sample Distance*) te trodimenzionalni vektorski podaci na temelju kojih je izrađen digitalni model reljefa (DMR). Fotogrametrijski materijal snimila je i izradila tvrtka Geofoto d.o.o. Zagreb prema specifikacijama proizvođa Državne geodetske uprave. Aerosnimanje područja istraživanja provedeno je pri prosječnoj visini leta zrakoplova od oko 4190 m s digitalnom aerofotogrametrijskom kamerom velika formata Microsoft UltraCamX (Microsoft, Vexcel Imaging GmbH, Graz, Austrija) (Gruber i dr. 2008) u srpnju 2009. godine. Područje je pokriveno s ukupno 6 snimaka u 2 niza (slika 1). Uzdužni preklop snimaka iznosio je 60 %, a poprečni 30 %. Zajedno s digitalnim aerosnimkama dostavljeni su i parametri aerotriangulacije (unutarnje, relativne, vanjske te parametri izjednačenja bloka aerosnimaka).

Cjelokupni postupak fotogrametrijskoga procesiranja (orijentacija aerosnimaka, izrada stereomodela aerosnimaka, izrade DMR-a, izmjera visine) proveden je na digitalnoj fotogrametrijskoj stanici primjenom fotogrametrijskoga softvera PHOTOMOD 5.24 (Racurs Co., Moscow, Russia). Detaljan opis opreme (DFS, softveri) i metode (fotogrametrijske izmjere visine) korištenih u istraživanju te izrade DMR-a odnosno DMV-a dan je u radovima Balenočić i dr. (2015, 2016). Ukratko, orijentacija snimaka i izrada stereomodela provedena je na temelju dostavljenih parametara aerotriangulacije u PHOTOMOD AT modulu. Rasterski DMR veličine piksela 1×1 m izrađen je u PHOTOMOD DTM modulu iz 3D vektorskih podataka kreiranjem nepravilne mreže trokuta te njezinom interpolacijom u rasterski oblik.

Stereofotogrametrijska izmjera visine stabala provedena je u PHOTOMOD StereoDraw modulu na





**Slika 1.** Područje istraživanja s prostornim rasporedom aerosnimaka

**Fig. 1** Study area with the spatial distribution of aerial images

fotogrametrijskim ploham postavljanim na aerosnimkama na temelju GPS-om snimljenih prostornih koordinata ( $x, y$ ) središta terenskih. Svakomu stablu na fotogrametrijskoj plohi interpretirana je vrsta drveća te određen vrh stabla polaganjem stereomarkera na vrh krošnje. Vrh stabla zabilježen je 3D točkastim vektorskim objektom s pripadajućim  $x, y, z$  koordinatama. Vizualna interpretacija vrsta drveća provedena je na temelju raspoznavanja slikovnih značajki krošnja, točnije općega izgleda (oblik krošnje, struktura i tekstura) i boje krošnje. Pri tome su pomogle spoznaje o provedenim istraživanjima o načinu preslikavanja pojedinih vrsta drveća na ICK aerosnimkama (Pernar 1994, Pernar i dr. 2007a, 2007b, 2008 itd.) te zapažanja tijekom terenskih radova u okviru ovoga istraživanja. Interpretirane su glavne vrste drveća područja istraživanja (hrast kitnjak, obična bukva i obični grab), dok su ostale sporedne vrste drveća grupirane u kategoriju »ostalo«. Na temelju 3D točkastih objekata očitana je nadmorska visina vrhova stabala, dok je nadmorska visina podnožja stabala dobivena iz ortogonalne projekcije vrhova stabala na tlo odnosno DMR. Fotogrametrijska visina svakoga stabla na plohi izračunata je kao razlika fotogrametrijski određene nadmorske visine vrha i podnožja stabla.

Točnost fotogrametrijski procijenjenih visina odvojeno po vrstama drveća ispitana je usporedbom s referentnim terenski procijenjenim visinama. U tu je svrhu za svaki odsjek izračunata fotogrametrijska i terenska srednja sastojinska visina pojedinih vrsta drveća (hrast kitnjak, obična bukva, obični grab) i kategorije »ostalo«. Srednja sastojinska visina izračunata je kao aritmetička sredina svih izmjerenih visina unutar odsjeka. Za ocjenu točnosti fotogrametrijski procijenjene srednje sastojinske visine odvojeno po vrstama drveća za svaki su odsjek izračunata odstupanja ( $D$ , prema eng. *differences*) fotogrametrijski procijenjenih od terenski procijenjenih vrijednosti. Nadalje, kao mjere odstupanja za cijelo područje istraživanja za svaku vrstu drveća izračunati su: srednje odstupanje ( $MD$ , prema eng. *mean difference*) i korijen srednje kvadratne pogreške ( $RMSE$ , prema eng. *root mean square error*). Navedene mjere odstupanja izračunate su u mjernim jedinicama (metrima) te u postotnom iznosu od referentne terenske vrijednosti prema formulama:

$$D = H_{PH-i} - H_{F-i} \quad (1)$$

$$D_{\%} = \frac{H_{PH-i} - H_{F-i}}{H_{F-i}} \times 100 \quad (2)$$

$$MD = \frac{\sum_{i=1}^n (H_{PH-i} - H_{F-i})}{n} \times 100 \quad (3)$$

$$MD_{\%} = \frac{MD}{\bar{H}_F} \times 100 \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_{PH-i} - H_{F-i})^2}{n}} \quad (5)$$

$$RMSE_{\%} = \frac{RMSE}{\bar{H}_F} \times 100 \quad (6)$$

gdje su:

$H_{PH-i}$  fotogrametrijski procijenjena srednja sastojinska visina za odsjek  $i$

$H_{F-i}$  terenski procijenjena srednja sastojinska visina za odsjek  $i$

$n$  broj odsjeka

$\bar{H}_F$  aritmetički srednja vrijednost terenski procijenjene srednje sastojinske visine odvojeno po vrstama drveća na cijelom području istraživanja.

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

Sukladno očekivanjima, fotogrametrijskom izmjerom zabilježen je za 17 % manji broj stabala u usporedbi sa stvarnim brojem stabala izmjerenim na terenu (tablica 1). Gledano odvojeno po vrstama drveća ukupno za čitavo područje, kao i po uređajnim razredima, najmanje podcjenjivanje broja stabala fotogrametrijske izmjere u odnosu na terensku izmjeru dobiveno je za hrast kitnjak, dok je za običnu bukvu, obični grab i kategoriju »ostalo« dobiveno značajno veće podcjenjivanje broja stabala. Na temelju prijašnjih spoznaja (Næsset 1996, Eid i dr. 2004, Magnusson i dr. 2007) te rezultata vlastitih istraživanja Balenović i dr. (2013, 2015, 2016) navode da je podcjenjivanje stvarnoga broja stabala fotogrametrijskom izmjerom uobičajeno i gotovo neizbježno. Kao glavne razloge navode: nemogućnost interpretacije stabala podstojne etaže, zasjenjena stabla te pogreške pri interpretaciji kada se dva stabla ili više njih interpretiraju kao jedno. Osim toga na iznos podcjenjivanja vizualnom interpretacijom aerosnimaka utječe i niz drugih čimbenika, npr.: kakvoća i svojstva aerosnimaka, uvjeti aerosnimanja, strukturna obilježja šumskih sastojina, stanišne odnosno topografske karakteristike, metoda interpretacije, iskustvo interpretatora itd.

Odstupanja fotogrametrijski procijenjene srednje sastojinske visine odvojeno po vrstama drveća u odnosu na referentne terenski procijenjene vrijednosti prikazana su u tablici 2. Na temelju prikazanih rezultata vidljivo je da su dobivena vrlo slična odstupanja

**Tablica 1.** Usporedba fotogrametrijski detektiranoga broja stabala ( $N_{PH}$ ) s terenski izmjerenim brojem stabala ( $N_F$ ) po vrstama drveća za uređajne razrede i ukupno.  $D_{\%}$  je postotno odstupanje fotogrametrijski detektiranoga broja stabala u odnosu na terenski izmjereni broj stabala

**Table 1** Comparison of photogrammetrically detected number of trees ( $N_{PH}$ ) with field measured number of trees ( $N_F$ ) by tree species for each forest management class and overall (total).  $D_{\%}$  is the percentage difference between photogrammetrically detected number of trees in relation to the field measured number of trees

Vrsta drveća Tree species	Uredajni razred – Forest management class									Ukupno – Total		
	Q. petraea			F. sylvatica			C. hornbeam					
	N <sub>F</sub>	N <sub>PH</sub>	D <sub>%</sub>	N <sub>F</sub>	N <sub>PH</sub>	D <sub>%</sub>	N <sub>F</sub>	N <sub>PH</sub>	D <sub>%</sub>	N <sub>F</sub>	N <sub>PH</sub>	D <sub>%</sub>
Q. petraea	99	96	–3	60	51	–15	72	66	–8	231	213	–8
F. sylvatica	65	56	–14	951	781	–18	73	60	–18	1089	897	–18
C. betulus	146	114	–22	854	710	–17	554	462	–17	1554	1286	–17
Ostalo – Others	20	15	–25	123	103	–16	118	96	–19	261	214	–18
Ukupno – Total	330	281	–15	1988	1645	–17	817	684	–16	3135	2610	–17

za sve vrste drveća. Ipak, najtočniji rezultati dobiveni su za obični grab, a nešto slabiji za hrast kitnjak, običnu bukvu i kategoriju »ostalo«. Iz grafičkoga prikaza postotnih odstupanja ( $D_{\%}$ ) fotogrametrijski procijenjene srednje sastojinske visine po odsjecima (slika 2) vidljivo je da nešto slabiji rezultati (MD,  $MD_{\%}$ , RMSE,  $RMSE_{\%}$ ) za kitnjak i bukvu dolaze zbog veće pogreške procjene srednje sastojinske visine u samo jednom odsjeku. Za kitnjak ta pogreška ( $D$ ) iznosi 5,61 m odnosno 30,26 %, a za bukvu –4,37 m odnosno –23,29. Ako se sastojine s tim maksimalnim odstupanjem izuzmu iz analize, tada se RMSE za bukvu smanjuje s 2,36 m na 1,71 m, odnosno s 10,27 % na 8,47 %. Analogno, RMSE se za kitnjak smanjuje s 2,04 m na 1,89 m, odnosno s 10,16 % na 8,11 %. Razlozi većih odstupanja u tim odsjecima mogu biti posljedica prostornih odstupanja pojedinih fotogrametrijskih ploha u odnosu na terenske plohe uzrokovanih pogreškom GPS-ova prijamnika zbog slabijega prijma signala u gustim sklopljenim sastojinama (Næsset i Gjevestad 2008). Naime, zbog prostornoga odstupanja pojedinih fotogrametrijskih ploha u odnosu na terenske plohe moguće je da su različita stabla bila obuhvaćena fotogrametrijskom izmjerom te da je u slučaju kitnjaka u uzorak ušlo nekoliko izrazito visokih stabala, odnosno u slučaju bukve da nekoliko visokih stabala nije ušlo u fotogrametrijski uzorak. Pogreška DMR-a također je mogući uzrok pogrešne procjene visine pojedinačnih stabala koja potom može dovesti do pogreške u procjeni srednje sastojinske visine. Naime, kako je rasterski DMR rezolucije  $1 \times 1$  m korišten u ovom istraživanju izrađen interpolacijom mreže točaka međusobno udaljenih 25 m, a područje je istraživanja izraženo reljefa, može se pretpostaviti da DMR na određenim dijelovima površine, odnosno na određenim plohama ne daje u potpunosti točne (stvarne) podatke nadmorske visine tla.

Tako su na određenim plohama moguće značajnije pogreške (negativne ili pozitivne) pri fotogrametrijskoj izmjeri visine pojedinačnih stabala (Balenović i dr. 2015). Do sličnoga zaključka dolaze Zagalikis i dr. (2005) koji navode kako na točnost fotogrametrijske izmjere visine utječe točnost korištenoga DMR-a.

Nadalje, na temelju dobivenih vrijednosti srednjega odstupanja ( $MD$ ,  $MD_{\%}$ ) razvidno je da fotogrametrijska srednja sastojinska visina za hrast kitnjak i običnu bukvu u prosjeku neznatno precjenjuje, a za obični grab neznatno podcjenjuje terenske vrijednosti, dok su za kategoriju »ostalo« dobivene veće vrijednosti podcjenjivanja (tablica 2). Potvrda tomu su i grafički prikazi na slici 2. Do precjenjivanja fotogrametrijski srednje sastojinske visine hrasta kitnjaka i obične bukve u većini odsjeka, uz već navedene moguće razloge (pogreška GPS-a, pogreška DMR-a), dolazi i zbog podcjenjivanja broja stabala (tablica 1). Drugim riječima, dio nižih stabala podstojne etaže nisu bila obuhvaćena fotogrametrijskom izmjerom jer ih na aerosnimkama nije moguće detektirati, što u konačnici utječe na precjenjivanje srednje sastojinske visine. Srednja je sastojinska visina za obični grab u polovici odsjeka precijenjena, a u polovici podcijenjena fotogrametrijskom izmjerom, dok je za kategoriju »ostalo« u gotovo svim odsjecima, izuzev u jednom, podcijenjena. Osim već navedenih uzroka (pogreška GPS-a, pogreška DMR-a) učestalije podcjenjivanje kod kategorije »ostalo« može biti uzrokovano i pogrešnom interpretacijom vrha stabla. Naime, zbog izgleda i strukture krošnje, te načina preslikavanja na ICK aerosnimkama za određene vrste drveća (npr. obični grab, obični bagrem, domaće topole) teže je odrediti sam vrh stabala, pa često dolazi do »spuštanja« stereomarkera ispod stvarnoga vrha stabla te time do podcjenjivanja stvarne visine stabla. Također, u obzir treba uzeti i pretpostavke prethodnih



**Tablica 2.** Odstupanja fotogrametrijski procijenjene srednje sastojinske visine po vrstama drveća u odnosu na referentne terenski procijenjene vrijednosti (D – odstupanje, MD – srednje odstupanje, RMSE – korijen srednje kvadratne pogreške)

**Table 2** Differences between photogrammetrically and field estimated mean stand heights (D – difference, MD – mean difference, RMSE – root mean square error)

Vrsta drveća <i>Tree species</i>	D, m		D <sub>%</sub> , %		MD, m	MD <sub>%</sub> , %	RMSE, m	RMSE <sub>%</sub> , %
	Min	Max	Min	Max				
<i>Q. petraea</i>	–3,17	5,61	–13,09	30,26	0,70	3,06	2,36	10,27
<i>F. sylvatica</i>	–4,37	2,67	–23,39	13,25	0,43	2,16	2,04	10,16
<i>C. betulus</i>	–3,23	1,74	–18,32	9,10	–0,37	–1,97	1,54	8,29
Ostalo – <i>Others</i>	–3,49	0,39	–19,04	2,15	–1,40	–7,47	1,85	9,86

istraživanja. Na temelju istraživanja provedenoga na istom području, u kojem su ispitivali točnost srednje sastojinske visine na razini odsjeka (ne po vrstama), Balenović i dr. (2015, 2016) navode da fotogrametrijskom izmjerom podcijenjeni broj stabala nije značajno utjecao na točnost procjene srednje sastojinske visine. Stoga pretpostavljaju da su uzrok podcijenjivanja stabala uglavnom pogreške pri interpretaciji kada se dva stabla ili više njih interpretiraju kao jedno, a u manjoj mjeri zasjenjena stabla i stabla podstojne etaže. U prilog tomu ide i činjenica da su istraživane raznodobne sastojine (odsjeci) sastavljene od niza manjih jednodobnih skupina stabala podjednake dobi i dimenzija s manjim udjelom stabala podstojne etaže.

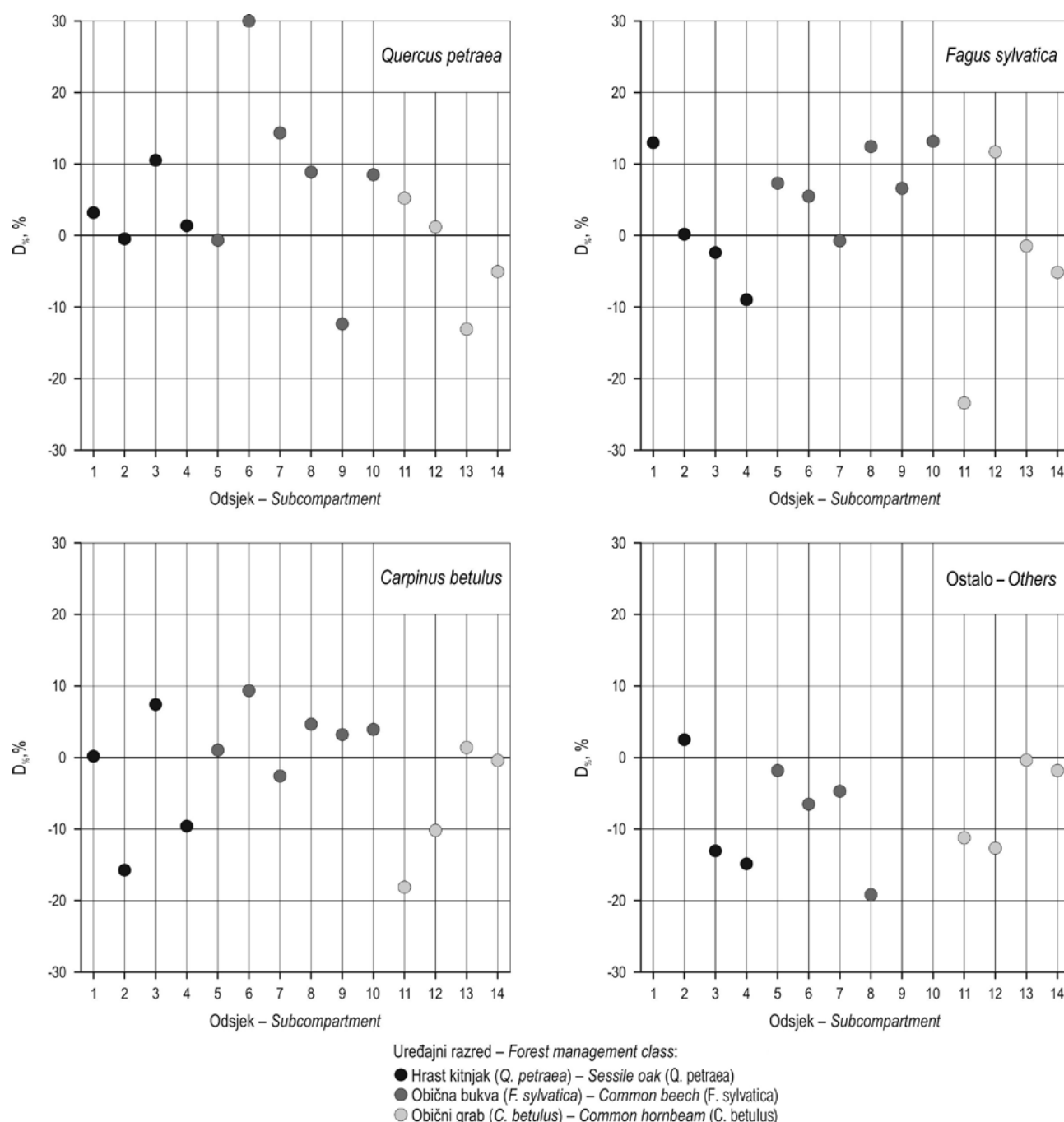
Izravna usporedba s rezultatima prijašnjih istraživanja nije u potpunosti opravdana jer je uglavnom ispitivana točnost procjene visine pojedinačnih stabala (Benko 1993, Shimizu i dr. 2014) ili različite srednje sastojinske visine ukupno (Næsset 1996, Eid i dr. 2004, Magnusson i dr. 2007, Balenović i dr. 2015, 2016), a ne po vrstama drveća. Međutim, ipak je vidljivo da su dobiveni rezultati u skladu s rezultatima dosadašnjih istraživanja. Primjerice, Eid i dr. (2004) fotogrametrijski su procjenjivali dominantnu visinu sastojina u jednodobnim sastojinama četinjača (Norveška) s odstupanjima (D<sub>%</sub>) u rasponu od –29 do 26 % u odnosu na terensku izmjeru. U okviru istraživanja koje su Magnusson i dr. (2007) proveli u mješovitim sastojinama četinjača i listača (Švedska) četiri neovisna interpretatora procjenjivali su srednju sastojinsku visinu sa srednjim odstupanjima (MD<sub>%</sub>) od –1,6 m, 0,6 m, 1,2 m te 2,1 m u odnosu na referentne terenske podatke. Balenović i dr. (2015) na istom su području istraživanja na kojem je provedeno i ovo istraživanje procjenjivali aritmetički srednju visinu sastojina s odstupanjima (D<sub>%</sub>) u rasponu od –10,0 do 11,4 % na aerosnimkama GSD 30 cm te s odstupanjima (D<sub>%</sub>) u rasponu od –8,5 do 10,4 % na aerosnimkama GSD 10 cm. Također, pri fotogrametrijskoj procjeni Lorreyeve srednje sastojin-

ske visine Balenović i dr. (2016) dobili su manja odstupanja (D<sub>%</sub>), i to za aerosnimke GSD 30 cm u rasponu od –13,6 do 2,8%, a za aerosnimke GSD 10 cm u rasponu od –12,8 do 2,8 %. Iz navedenoga je vidljivo da su odstupanja srednje sastojinske visine po vrstama drveća dobivena u okviru ovoga istraživanja veća od odstupanja srednje visine procijenjene za čitavu sastojinu (Balenović i dr. 2015, 2016). Pozitivne i negativne pogreške procjene pojedinih vrsta u sastojini međusobno se poništavaju, pa se u konačnici dobiva manja pogreška ukupne srednje sastojinske visine.

#### 4. Zaključci – Conclusions

U radu, kojim se nastavljaju dosadašnja istraživanja (Balenović i dr. 2013, 2015, 2016), ispitana je točnost fotogrametrijske procjene srednje sastojinske visine odvojeno po vrstama drveća (hrast kitnjak, obična bukva, obični grab) na brežuljkastom području šumoposjedničkih šuma središnje Hrvatske. U istraživanju su korištene digitalne stereo-aerosnimke prostorne rezolucije GSD 30 cm te digitalni vektorski podaci za izradu DMR-a. Fotogrametrijski materijal jednakih karakteristika dostupan je u Državnoj geodetskoj upravi za cijelo područje Republike Hrvatske. Također, u svim uređenim europskim državama, pa tako i u Hrvatskoj, aerosnimke se redovito prikupljaju u određenim intervalima. Prema tomu, dostupnost redovito ažuriranoga fotogrametrijskoga materijala omogućuje primjenu u radu prikazane metodologije na svim šumskim područjima u Hrvatskoj.

Za sve tri vrste drveća (hrast kitnjak, obična bukva, obični grab) dobivena su vrlo slična odstupanja fotogrametrijski procijenjene srednje sastojinske visine u odnosu na referentne terenske vrijednosti. Ipak, najtočniji rezultati dobiveni su za obični grab, a nešto slabiji za hrast kitnjak i običnu bukvu. Grafičkom je analizom utvrđeno da su nešto slabiji rezultati za kitnjak i bukvu dobiveni zbog veće pogreške procjene



**Slika 2.** Odstupanje ( $D_{\%}$ ) fotogrametrijski procijenjene srednje sastojinske visine u odnosu na referentne terenski procijenjene vrijednosti  
**Fig. 2** Differences ( $D_{\%}$ ) between photogrammetrically and field estimated mean stand heights

srednje sastojinske visine u samo jednom odsjeku. Pretpostavka je da su ta veća odstupanja uzrokovana ponajprije pogreškom GPS-ova prijmnika pri određivanju prostornih koordinata središta primjernih ploha tijekom terenskih mjerenja. Zbog pogreške GPS-ova prijmnika dolazi do prostornih odstupanja pojedinih fotogrametrijskih ploha u odnosu na terenske plohe,

pa su različita stabla obuhvaćena terenskom i fotogrametrijskom izmjerom, što u konačnici dovodi do većih odstupanja između terenske i fotogrametrijske izmjere, osobito ako se radi o heterogenim sastojinama. Nadalje, drugi vjerojatni uzrok većih odstupanja čine pogreške DMR-a. Naime, kako je DMR, korišten u ovom istraživanju, izrađen interpolacijom mreže

točaka međusobno udaljenih 25 m, a područje je istraživanja izražena reljefa, može se pretpostaviti da DMR na određenim dijelovima ne daje u potpunosti točne (stvarne) podatke nadmorske visine tla. Zbog toga su na određenim plohama moguće značajnije pogreške (negativne ili pozitivne) pri fotogrametrijskoj izmjeri visine pojedinačnih stabala.

Međutim, unatoč tomu istraživanje je potvrdilo veliku mogućnost primjene digitalnih aerosnimaka visoke prostorne rezolucije u inventuri šuma, odnosno pri procjeni srednje sastojinske visine. S obzirom na navedeno, tijekom daljnjih istraživanja trebalo bi obratiti pozornost na preciznost prikupljanja referentnih terenskih podataka radi što točnijega prostornoga pozicioniranja terenskih ploha, i to npr. primjenom Globalnoga navigacijskoga satelitskoga sustava (GNSS) visoke preciznosti. Tako bi se mogla u potpunosti razlučiti odstupanja koja nastaju kao posljedica same fotogrametrijske izmjere od odstupanja koja nastaju kao posljedica pogreške GPS-ova prijamnika ili DMR-a.

## 5. Literatura – References

- Balenović, I., A. Seletković, R. Pernar, 2016: Usporedba točnosti procjene strukturnih elemenata sastojina fotogrametrijskom izmjerom aerosnimaka različitih prostornih rezolucija. *Šumarski list* (u tisku).
- Balenović, I., A. Seletković, R. Pernar, A. Jazbec, 2015: Estimation of the mean tree height of forest stands by photogrammetric measurement using digital aerial images of high spatial resolution. *Annals of Forest Research*, 58(1): 125–143.
- Balenović, I., H. Marjanović, K. Indir, D. Vuletić, M. Z. Ostrogović, M. Benko, 2013: Estimation of the stands' arithmetic mean diameter using manual method of digital photogrammetry. *Periodicum Biologorum*, 115(3): 399–407.
- Benko, M., 1993: Procjena taksacijskih elemenata sastojina na infracrvenim kolornim aerosnimkama. *Glasnik za šumske pokuse*, 29: 199–274.
- Bohlin, J., J. Wallerman, J. E. S. Fransson, 2012: Forest variable estimation using photogrammetric matching of digital aerial images in combination with a high-resolution DEM. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 27(7): 692–699.
- Eid, T., T. Gobakken, E. Næsset, 2004: Comparing stand inventories for large areas based on photo-interpretation and laser scanning by means of cost-plus-loss analyses. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19(6): 512–523.
- Gruber, M., M. Ponticellia, S. Bernögger, L. Leberl, 2008: Ultracamx, the large format digital aerial camera system by vexcel imaging/Microsoft. *Proceedings of ISPRS XXIIst Congress »Silk Road for Information from Imagery«*. ISPRS, Beijing, China, 17(Part B1): 665–670.
- Korpela, I., 2004: Individual tree measurements by means of digital aerial photogrammetry. *Silva Fennica mon.*, 3: 1–93.
- Magnusson, M., J. E. S. Fransson, H. Olsson, 2007: Aerial photo-interpretation using Z/I DMC images for estimation of forest variables. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 22(3): 254–266.
- Michailoff I., 1943: Zahlenmässiges Verfahren für die Ausführung der Bestandeshöhenkurven. *Cbl. und Thar. Forstl. Jahrbuch*, 6: 273–279.
- Næsset, E., 1996: Determination of number of stems in coniferous forest stands by means of aerial photo-interpretation. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 11(1): 76–84.
- Næsset, E., J. G. Gjevestad, 2008: Performance of GPS precise point positioning under conifer forest canopies. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 74(5): 661–668.
- Pernar, R., 1994: Način i pouzdanost određivanja oštećenosti hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) na infracrvenim kolornim (ICK) aerosnimkama. *Glasnik za šumske pokuse*, 31: 1–34.
- Pernar, R., A. Seletković, M. Ančić, 2007a: Utvrđivanje oštećenosti šuma Spačvanskog bazena primjenom infracrvenih kolornih aerosnimaka. *Šumarski list*, 131(7–8): 315–322.
- Pernar, R., A. Seletković, M. Ančić, M. Vedriš, K. Teslak, 2008: Assessing the health status of beech-fir forests using remote sensing methods. *Periodicum Biologorum*, 110(2): 157–161.
- Pernar, R., M. Ančić, A. Seletković, 2007b: Primjena ICK aerosnimaka za utvrđivanje oštećenosti šuma na području UŠP Gospić. *Šumarski list* 131(11–12): 507–521.
- Pranjić, A., N. Lukić, 1997: Izmjera šuma. Sveučilište u Zagrebu, *Šumarski fakultet*, 1–410.
- Shimizu, K., T. Ota, T. Kajisa, N. Mizoue, S. Yoshida, G. Takao, Y. Hirata, N. Furuya, T. Sano, S. Heng, M. Vuthy, 2014: Estimation of aboveground biomass using manual stereo viewing of digital aerial photographs in tropical seasonal forest. *Land*, 3(4): 1270–1283.
- Van Laar, A., A. Akça, 2007: *Forest mensuration*. Springer, Dordrecht, Netherlands, 1–376.
- White, J. C., C. Stepper, P. Tompalski, N. C. Coops, M. A. Wulder, 2015: Comparing ALS and image-based point cloud metrics and modelled forest inventory attributes in a complex coastal forest environment. *Forests*, 6(10): 3704–3732.
- Zagalikis, G., A. D. Cameron, D. R. Miller, 2005: The application of digital photogrammetry and image analysis techniques to derive tree and stand characteristics. *Canadian Journal of Forest Research*, 35(5): 1224–1237.



---

## Abstract

---

### *Photogrammetric Estimation of the Mean Stand Heights Separated by Tree Species in Mixed Forests of Central Croatia*

The aim of this research was to evaluate the accuracy of photogrammetrically estimated mean tree height for the main tree species (sessile oak, common beech, common hornbeam) of the mixed privately-owned forests in Central Croatia. Within this research, digital aerial images of ground sampling distance of 30 cm and national digital terrain data for digital terrain model (DTM) creation were used. Stereo-photogrammetric measurement was conducted on photogrammetric plots overlaid upon the aerial images based on the spatial coordinates of the plot centres recorded by the GPS receiver during field survey. Photogrammetric heights of each tree on the plot were calculated as a difference of tree top determined on aerial images and corresponding tree bottom obtained from DTM. The accuracy of the photogrammetrically estimated mean tree height of each species was evaluated with reference field data. For that purpose, the photogrammetric and field mean stand heights of the main tree species were calculated for each subcompartment. Mean stand heights were calculated as averages of all measured trees within specific subcompartment.

Very similar errors of photogrammetrically estimated mean stand heights in relation to field estimates were obtained for all three observed species (sessile oak, common beech, common hornbeam). However, the most accurate estimates were obtained for common hornbeam ( $MD = -1.97\%$ ,  $RMSE_{\%} = 8.29\%$ ), whereas slightly lower accuracy was obtained for common beech ( $MD = 2.16\%$ ,  $RMSE_{\%} = 10.16\%$ ) and sessile oak ( $MD = 3.06\%$ ,  $RMSE_{\%} = 10.27\%$ ). The results of this research confirmed the great potential for the application of digital aerial images of high spatial resolution in forest inventory, especially for the mean tree height estimation.

**Keywords:** stereo photogrammetry, digital aerial images, tree height, mixed forest stands, forest inventory

---

#### Adresa autorâ – Authors' addresses:

Izv. prof. dr. sc. Ante Seletković  
e-pošta: aseletkovic@sumfak.hr  
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
Zavod za izmjeru i uređivanje šuma  
Svetošimunska 25  
10 000 Zagreb  
HRVATSKA

Marija Perić  
e-pošta: marijapericc@gmail.com  
Lanište 12B  
10 020 Zagreb  
HRVATSKA

Dr. sc. Ivan Balenović \*  
e-pošta: ivanb@sumins.hr  
Hrvatski šumarski institut  
Zavod za uređivanje šuma i šumarsku ekonomiku  
Trnjanska cesta 35  
10000 Zagreb  
HRVATSKA

\* Glavni autor – Corresponding author

Primljeno (Received): 18. 09. 2016.

Prihvaćeno (Accepted): 07. 10. 2016.



# A Structural Reinforcement Layer with Woodchips Used on Forest Roads

Petr Hruža, Petr Pelikán, Jaroslav Blahuta, Jiří Nedorost, Zdeněk Patočka

## Abstract – Nacrtak

*Described biotechnical measures focus on the use of woodchips in the formation of a structural reinforcement layer on forest roads in the places with high levels of groundwater. These are often short sections of roads which can thus block off entire forests. In history, these sections were overcome using corduroy roads. Currently, there are tendencies to revive the biotechnical technology and replace logs used for corduroy roads with woodchips. This study investigates the possible reinforcement of a waterlogged section using woodchips in a forest road of multi-functional character, which serves for cycling as well as timber transport. In total, three different types of reinforcement were constructed using woodchips in combination with geotextile and crushed stone. The reinforcement was tested by common operations using a timber extraction tractor with tandem axle trailer. The modulus of deformation was measured on the surface and the deformation characteristics of the layer were determined. Subsequently, the shape of the reinforcement cross-section was surveyed. The results have shown that, even with very low modulus of deformation values, the shape of the reinforcement cross-section does not change statistically in two types of the reinforcement technology. These two types of reinforcement can be successfully used for forest roads that perform the recreational function or for timber transport by tractor. The main advantages are that renewable material is used and no extraction and moving of the ground occur during its production.*

*Keywords: Forest road, reinforcement, corduroy road, woodchips, waterlogging, trafficability*

## 1. Introduction – Uvod

The reinforcement of forest roads is a broad issue that encompasses different solutions. An appropriate solution must take into account that forest roads need to meet the requirements of timber transport. The maximum pressures of the design vehicle (hauling machinery) axles on their surface are stipulated by valid regulations (axle – 10 t, driving axle – 12 t). Additionally, the economic aspect is important as forest roads are roads with a low intensity of transport and a variety of timber hauling vehicles. The suitable solution of the reinforcement of forest roads must incorporate both of these opposing requirements. Moreover, forest roads are used by the general public for recreational purposes. All in all, a forest road needs to be constructed so as to be economically acceptable in direct proportion with the revenues and costs of forest management, and at the same time, able to perform the recreational function. In this context, it is necessary to realize that forest stands are often located in terrains which are not suit-

able for road construction. The Czech Republic is characterized by broad valleys, basins, hills, highlands, and mountains. This fact is reflected in the process of landscape accessing, since 18.1% of the base soils are influenced by elevated amounts of water according to Buček and Lacina (1999) classification of hydric series. 15% of the Czech Republic territory falls into the 4<sup>th</sup> waterlogged hydric series, which is defined by an »additional« amount of water in periodically flooded areas in river alluvia. Excess of water can also be found in 3% of soils of the 5<sup>th</sup> wet hydric series. It is characterized by more or less permanently wet or muddy soils, the water table is high, in some periods may even reach the surface. Even in dry periods, only the top layers get dry. It is very difficult to build roads in such areas: avoid their caving in but also make sure the construction is economically viable with the technologies used.

Along with the development of means of transport and their increasing transport capacity, efforts have always been made to improve the load bearing capac-

ity of forest roads and thus increase the amount of timber transported within a single route. The effort is understandable and well founded due to the fact that the timber harvest sites are often remote and difficult to access. The first attempts of road reinforcement appeared in about 4000 Before Christ in Great Britain (Lay 1992), when logs and poles were used to make corduroy roads. This type of reinforcement was especially used on sites with a low load bearing capacity affected by water, where putting the pole timber across the road created a wooden board which better spread the pressures of vehicle axles into an area. The presence of water prevents contact between air and wood and thus a faster decomposition of the pole timber. Even today, remains can be found of such roads from the 16<sup>th</sup> century, for example in Germany (Johnson 2014). Schmidt et al. (1997) investigated the physical and chemical properties of woodchips that were used 19 years ago to stabilize the road network in waterlogged areas in Minnesota. The samples for the research were collected from the road fill: the upper layer at a depth of 55 cm below the ground, and the lower layer at a depth of 150 cm. The woodchips had been closed with a layer of soil. The studied samples showed a low bacterial activity and the absence of mold. Though woodchips had different moisture holding capacities, their overall bulk density was essentially the same for locations within each site. The absence of fungal degradation was attributed to the lack of oxygen rather than limitations of pH, water, or nutrients. These data support the use of woodchips for lightweight fill of roadways in swamps. The authors concluded that woodchips preserved correctly are able to retain characteristics similar to new chips even after 19 years.

Currently, there are tendencies to revive the technology of wood use for the reinforcement of forest roads. Analogically, with the change from manual installation of stone pitching to machine installation of crushed stone, the manual installation of corduroy roads can be replaced with machine installation of shredded wood. The historical stone pitching technology was first replaced with a layer of coarse crushed stone by the Scottish builder John Loudon McAdam in 1816 (Makovník et al. 1973). He first crushed the stone mechanically, directly at the extraction spot, and then transported the crushed stone to the road subgrade as a reinforcement layer. In consequence, the technology of corduroy road construction was lost.

Most of the published studies dealing with the use of wood for the reinforcement of forest roads rather concentrate on the use of brushmats on forest routes during harvesting than on forest roads (Jakobsen and Moore 1981, Olsen and Wästerlund 1989, Owende et al.

2002, Labelle and Jaeger 2012). The effect of brushmats for the rutting depth reduction during timber transport has been proven, as well as the improvement of the load bearing capacity of soil with increased moisture content (Tufts and Brinker 1993). Sirén (2001) presented that many studies (McMahon and Evanson 1994, Cline et al. 1991, Brunberg and Nilsson 1988) had demonstrated that brushmats prevent great compaction of the stand soil, the soil damage, and related negative impacts on naturally rejuvenated stands. (Wronski et al. 1990, Bettinger and Kellogg 1993, Richardson and Makkonen 1994). McMullen and Shupe (2002) examined the issue of the temporary use of brushmats and corduroy roads on wetlands during the construction of pipelines and their subsequently required removal. They concluded that the removal of brushmats from wetlands and the disposal of the removed material, which is usually required by regulators, can create wetlands disturbance and are very expensive. Eliasson and Wästerlund (2007) stated that the weight of machinery used for harvest operations in the forest brings the risk of ruts and soil compaction and this risk increases especially in the event of adverse soil conditions. Labelle and Jaeger (2011, 2012) investigated the use of forest biomass from timber harvesting residues, which is often used during mechanized forest operations to improve trafficability of strip roads (machine operating trails). They mentioned that forest biomass is becoming increasingly important as a source of renewable energy. Using brush exclusively for biofuel will leave operating trails uncovered and can result in severe damage to forest soils. This may endanger the future use of this technology for road reinforcement, as the price of woodchips can climb up to the crushed stone price level. The use of woodchips to protect the road formation against erosion in the cut and fill slopes on rural roads has been described by e.g. Meyer et al. (1972). Other authors, George and Williams (1979), used woodchips for a coal hauling spur road where water sprinkling was the primary method of dust control. The duration of control was increased tenfold by covering the road surface with a layer of woodchips. Some of the newer publications mention the improvement of load bearing capacity in waterlogged sections of forest roads using logs and poles even in the present (Morris 1995, Wiest 1998, Sessions 2007).

The technology of using woodchips or wood mass for forest road reinforcement can be observed mainly in the USA, where it is often used for building forest trails and paths serving as reinforcement of waterlogged sites. Eberly (2004) presented a technology in which first the subgrade of a forest path is compacted, then 15 cm thick layer of brown chips is laid on, without



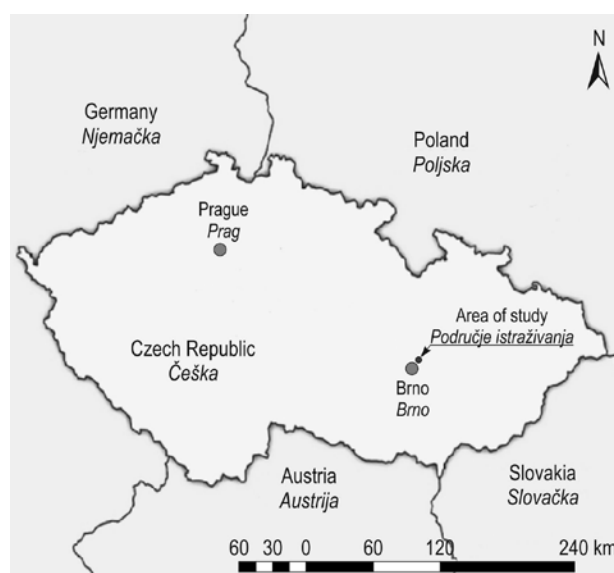
a closing layer for air access restriction and easier passage. This layer is sloped as requested and compacted. At the sites with the highest waterlogging, anchored corduroy roads are built with a structural layer of brown chips. Trails and their parameters are primarily made for pedestrians, Automated Transfer Vehicles (ATVs), snowmobiles, cars, and small tractors, but not for heavy trucks. Dahlman et al. (2010) described alternative ways of wood use to make waterlogged sites in the forest accessible. Their work outlined many solutions. They described the use of logs, poles, boards, palisades, pallets, corduroy, brush, and woodchips. When woodchips are used for reinforcement, they recommend preventing the woodchip scattering by placing them on the geotextile. Blinn et al. (1998) applied only 15 cm layer of chips for forest road reinforcement. The authors stated that it is necessary to replenish the woodchips regularly. Chunk wood can have the same application as woodchips. Wiest (1998) devoted increased attention to the settling of the road formation and the appearance of ditches and culverts at bog sites. Woodchips are also mentioned, used as a coarse-grained filling material of a road base layer laid on the geotextile. The forest road is designed directly on the bog base without the peat being extracted. Instead of base concrete for the foundation of culverts, a combination of the geotextile, woodchips, and stakes is used. The main task of the woodchips is to make the construction of forest roads lighter. The US Federal Highway Administration (2016) provides information on making access to significant waterlogged and bog sites. They list access using geosynthetic materials, stone pitching, wood, and their combinations. In one of the solutions they use woodchips as a filler material for the pavement intended for barrier-free access to a waterlogged site. The road formation is always located above the groundwater level. The authors do not recommend constructing paths or roads with a surface made of smooth wooden boards for their slippery surface, shrinking, and the rise of knots. Russell (2015) stabilized forest roads on sandy soils using by-products of timber production. The stabilization presented was carried out using woodchips, shredded wood material, wood fibers, wood cuttings, sawdust, and raw wood waste. He also lists the possible use of waste from paper mills. However, the author stated that the shredded wood pushed out of the way did not lose its durability in the sandy environment even 27 years after its application. According to Bowman et al. (1987), woodchips were used as building material for forest roads in the fill of road formation to overcome a marshy section in the Chequamegon National Forest. Shook (1988) dealt with the use of shredded wood waste for the reinforcement of less load bearing forest soils. The tech-

nology was applied to sandy, wetland and waterlogged soils. Shredded wood was sized 1 to 15 cm, around 8 cm on average. The wood was prepared using a special machine called wood chunker on the site where it was then used. Especially after-harvest, remains were used so no material purchase or transport was needed.

Local waterlogging occurs in forest roads especially in the sections that are inappropriately routed, i.e. lead along the contour line, unreinforced, or have operational reinforcement only, and are at the same time affected by high levels of underground water. At times of high precipitation, the roads are heavily damaged by the passing vehicles or they are completely impassable. These sections can be short, but their condition can put the entire forest road system behind them out of operation. In the current practice, coarse crushed stone is usually used for waterlogged sections. This solution is cheap and simple. However, it is temporary and must be repeated. The aims of this study are to verify the possible replacement of the crushed stone by woodchips and to investigate their use as a natural and local material for the structural layers of reinforcement, in order to improve the trafficability and avoid material caving in the subgrade of forest roads in the places of their local waterlogging.

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

The construction took place in the territory of the Training Forest Enterprise Masaryk Forest Křtiny. The



**Fig. 1** Area of study (Forest district Nove Mesto na Morave)

**Slika 1.** Područje istraživanja (šumski predio Nové Mesto na Morave)

forest road is located in cadastral area Jedovnice, southeast of the village Jedovnice behind the pond Olšovec (coordinates WGS-84 49.3270 N, 16.7853 E) (Fig. 1).

The forest road was in poor condition before the repair; the original reinforcement of the subgrade was completely missing and the very subgrade was damaged by ruts. The subgrade showed remnants of stone pitching reinforcement. No longitudinal drainage had been implemented (Fig. 2). A part of the road was waterlogged due to high levels of groundwater, as the forest road leads along a large marsh, which floods the road at the times of high precipitation. Due to the high water level in the marsh, water occasionally flows over the road formation at one point. The three test sections were constructed in this part of the forest road. Two samples of soil were taken from the forest road subgrade in the test section. Each sample was tested for the standard ratio of load bearing capacity (California Bearing Ratio – CBR) in compliance with EN 13286-47 – Unbound and hydraulically bound mixtures – Part 47. The resulting CBR was 8.0% and 8.5%, respectively. The optimum moisture content and consistency limits were set by the Proctor Compaction Test in compliance with EN 13286-47. The resulting values of CBR indicate that the subgrade given does not meet the required values for using the soil in the active zone of the road formation compliant to ČSN 73 6133; therefore, the soil would have to be modified or another solution should be proposed in order to increase the subgrade load bearing capacity, in the case of classical forest road reinforcement design. According to TP 170 Design of pavement structures (Ministry of Transport, Czech Republic 2004), the minimum value of CBR shall not drop below 15% for forest road surfaces in



**Fig. 2** The original condition of the forest road

**Slika 2.** Izgled dionice šumske ceste prije stabilizacije

the VI<sup>th</sup> class of traffic load, which is the class of the present forest road.

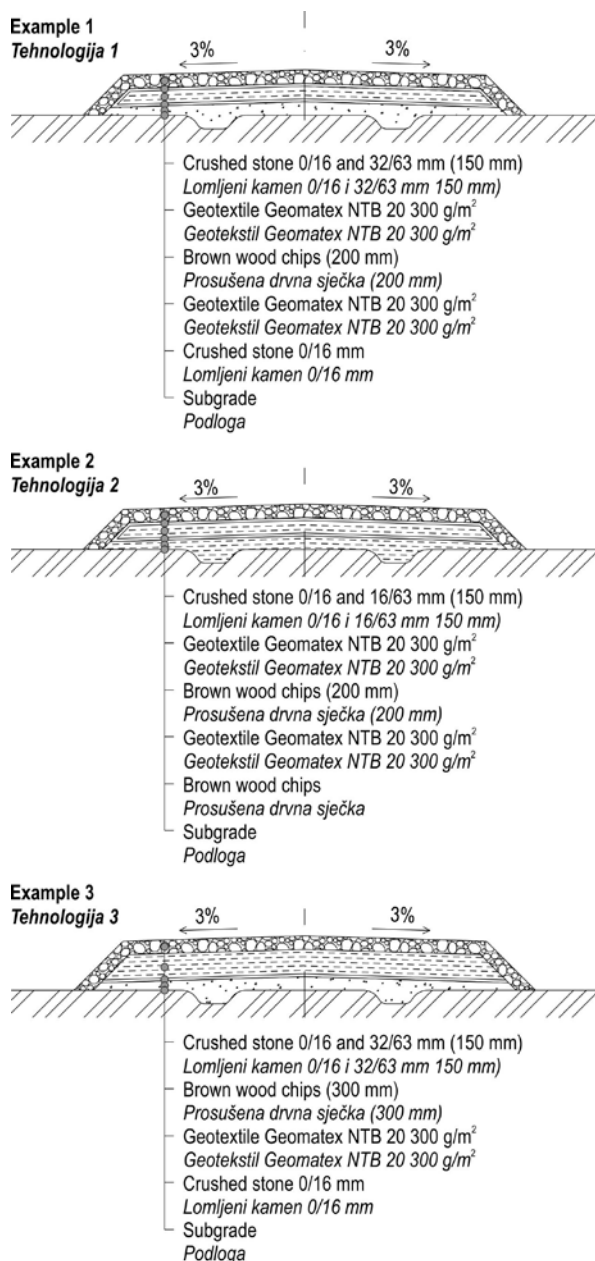
The presented technical solution uses a layer of brown chips together with the geotextile and a cover layer, which allows for better passage of cyclists, road vehicles and forestry machinery and mainly serves to close the layer of chips in order to reduce air access to the chips and prevent their disintegration. However, air access is also limited by the use of this technology in a waterlogged place – most of the year, chips are in contact with water preventing air access. Geotextile separates the layer of brown chips. As reported by, e.g., McDonald and Seixas (1997), Akay et al. (2007) or Han et al. (2009), the ability of a brushmat layer alone to resist vehicle passages decreases rapidly after 12 loaded forwarder passes. Then the brush gets broken, it is easily pushed into the ground and the layer mingles with the subgrade. In this case, the geotextile helps to keep a compact shape of the layer, as reported by Russell (2015).

In total, three types of reinforcement were installed in a length of 30 m each (Fig. 3). They differed by the way of subgrade leveling, the thickness of the brown chip layer, and the use of geotextile.

The first type was implemented as follows: the subgrade of the forest road was leveled and sloped into a roof-shaped transverse inclination of 3% with fine crushed stone of fraction 0/16 mm. Non-woven polypropylene geotextile with area mass of 300 g/m<sup>2</sup> was spread on the prepared subgrade in its entire width. A layer of brown chips, 200 mm thick, was spread (Fig. 4) and sloped into 3% transverse inclination by the grader and compacted by static pressure without vibration. It was covered with geotextile so that it totally enclosed the chips, i.e., including the edges of the woodchip layer (Fig. 5). Non-woven polypropylene geotextile with area mass of 300 g/m<sup>2</sup> was used again. This structure was covered with a cover layer of a total thickness of 150 mm. The cover layer must cover the chips and the geotextile even with the edges. The cover layer was formed in the following way: a layer of coarse crushed stone, fraction 32/63, was laid on the geotextile and two layers of crushed stone mixture of fraction 0/16 were gradually vibrated into it so that the thickness of the cover layer after compacting was 150 mm. The rule that fine crushed stone should not exceed 35% of the weight of coarse crushed stone was complied with; in this case it made up one third of the weight.

The second type of reinforcement using chips was installed similarly, except that the forest road with significantly damaged subgrade was leveled with a layer of chips, instead of fine crushed stone. The chips filled up the ruts and other bumps caused by vehicles. The





**Fig. 3** A cross-section of reinforcement

**Slika 3.** Izgled stabiliziranoga poprečnoga profila

leveling layer of brown chips was leveled and sloped into the roof-shaped transverse inclination of 3%. Non-woven geotextile with area mass of 300 g/m<sup>2</sup> was spread on it in the entire width of the subgrade and the desired length. The following stages of the technology are the same as in the first example.

The third type of reinforcement technology using chips was implemented at the beginning similarly to the first type, in which the subgrade was leveled and sloped into 3% roof-shaped transverse inclination



**Fig. 4** Brown chips laid on geotextile and sloped and compacted subgrade

**Slika 4.** Prosušena drvena sječka razasuta na geotekstil koji je položen na pripremljen donji ustroj



**Fig. 5** The layer of brown chips enclosed in geotextile

**Slika 5.** Sloj prosušene drvene sječke prekriven geotekstilom

with a leveling layer of fine crushed stone of fraction 0/16 mm. Geotextile was spread on the prepared subgrade in its entire width and then covered with a layer of brown chips, 100 mm thicker than in the previous cases, i.e. 300 mm thick. The layer was spread and sloped to the desired 3% transverse inclination by the grader and compacted by static pressure without vibration; as opposed to example 1, no geotextile was used to separate the woodchip layer from the cover layer. The cover layer was installed similarly to the previous cases (Fig. 6).

For the purpose of comparison and evaluation, each type of reinforcement was tested by static load test for its deformation characteristics using the mod-



**Fig. 6** The implemented reinforcement using brown chips with a cover layer of vibrated gravel

**Slika 6.** *Dionica šumske ceste stabilizirana prosušenom drvnom sječkom sa nevezanim gornjim ustrojem izvedenim od lomljenoga kamena*

ulus of deformation from the second load cycle ( $E_{def,2}$ ) and the ratio of the modulus of deformation between the second and the first load cycle ( $E_{def,2}/E_{def,1}$ ), which serves to check the compaction. The static load test is performed according to ČSN 72 1006 Inspection of compaction of soils and fills, and is used for fills of coarse-grained materials and fine-grained soils with a rigid to solid consistency, i.e. unbound layers; the soil or crushed stone grains directly under the circular loading plate must not be larger than 25% of the plate diameter. Although a part of the crushed stone was replaced with woodchips in the technology presented, finally this structural layer performs the same role as the classical reinforcement layer consisting of crushed



**Fig. 7** Static load test for the detection of deformation characteristics

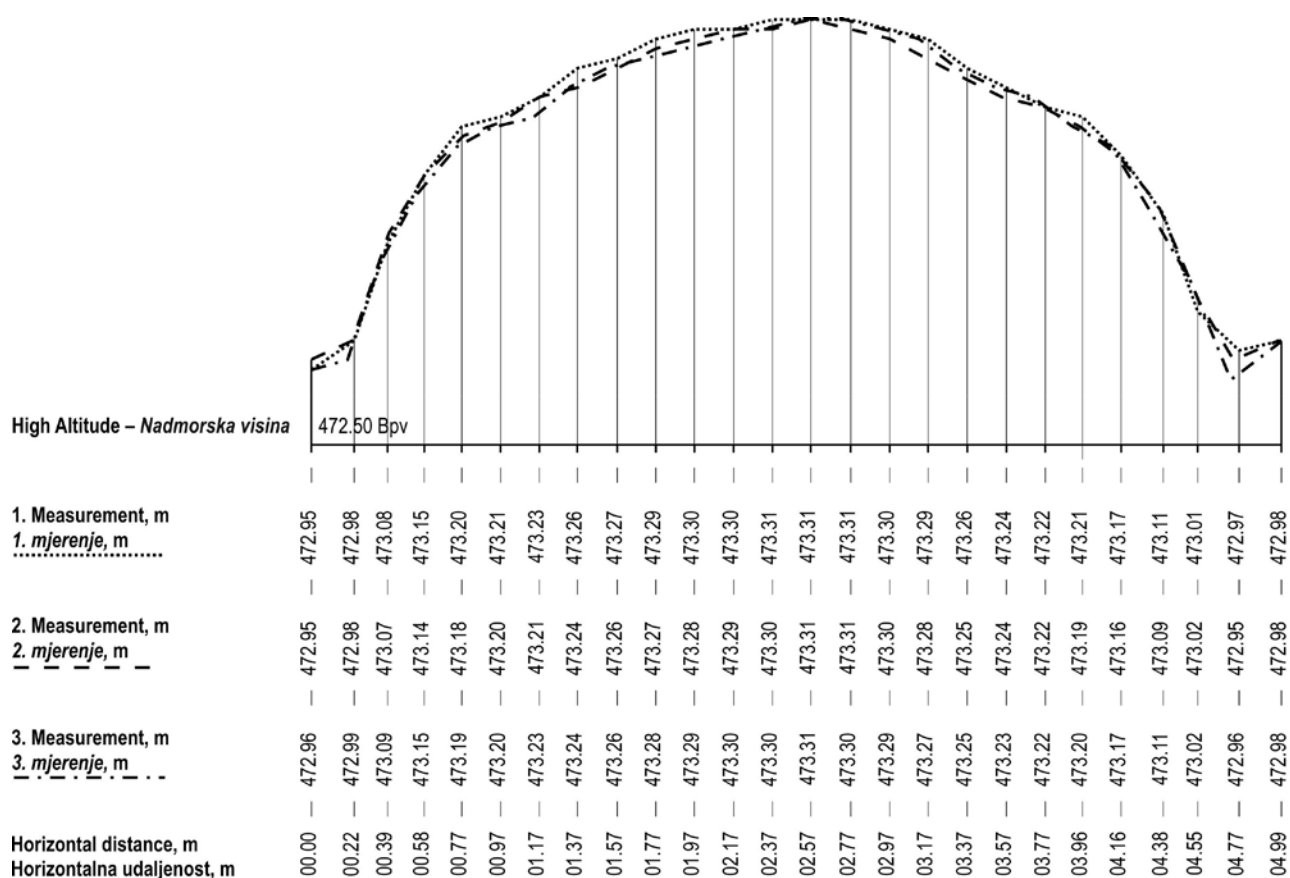
**Slika 7.** *Ispitivanje statičkoga opterećenja radi utvrđivanja deformacija*

stone only. For this reason, static load test compliant to ČSN 72 1006, Annex A – Test for Transport Structures, was used to establish the modulus of deformation from the second load cycle ( $E_{def,2}$ ) and the ratio between the second and the first load cycle ( $E_{def,2}/E_{def,1}$ ) in the particular types of presented reinforcements. The measurement was conducted using ECM-Static, which serves for semi-automatic measurement of deformation parameters and check of static load bearing capacity of compacted fills. It consists of a circular load plate of 300 mm, a tensometric power sensor, an opto-electronic linear track sensor, which is located in the measuring beam, the hydraulic loading system, and the electronic part of the device (Fig. 7).

In the context of evaluation and comparison of individual types of reinforcement, we monitored whether the cross profiles of each type of reinforcement changed in height. Two cross-sections were marked in each test section in regular distances for their tachymetric survey, in total six sample cross-sections. The cross profiles were marked by geoharpoons so that the tachymetric measurements could be repeated and the height changes of the reinforcement cross-sections could be detected. The first measurement of the shape of cross-sections is considered the reference; then, repeated measurements were done twice in regular two-month intervals. At the same time, the number of passages and the machinery types that moved in the test sections were recorded. Each cross-section was surveyed with the total station Trimble M3 in regular distances, every 20 cm in each cross profile; i.e. 40 height control points were measured within a single measurement in each test section in two cross-sections. The geodetic survey of the control points for the connection of the tachymetric measuring in the S-JTSK coordinate system and the height system Baltic Vertical Datum – After Adjustment was carried out using the GPS receiver Topcon Hiper Pro. The cross profiles were subsequently created in AutoCAD Civil 3D, where the height of each measured point of the cross profile was recorded in absolute coordinates of the Baltic vertical system (Fig. 8).

The measured values were subsequently statistically processed in Statistica 12, where the statistical hypothesis that within measurements repeated over time there is no statistically significant change in the shape of the cross-section with the confidence level  $\alpha = 0.05$  was verified using the analysis of variance (ANOVA). The differences in height of the particular measurement points were compared, the values from the second and third measurements being compared with the first reference measurement, and for each section separately. The results of the ANOVA and the static load test were used to compare the individual types of reinforcement and select the most suitable solution.





**Fig. 8** An example of a changed shape of the cross-section, including height changes in particular measurement points for the first type of reinforcement using woodchips

**Slika 8.** Promjene u izgledu poprečnog profila pri prvoj tehnologiji stabilizacije

The forest road, where the test sections are located, is mainly used for recreational purposes and only occasionally timber transport. The changes over time were monitored during the improvement cutting of the surrounding stands for four months. The timber was transported by Zetor Proxima 8541 tractor with tandem axle trailer BSS 8. The total allowed trailer weight is 12 t with a loading capacity of 8 t. The number of tractor-trailer passages during the first two months of monitoring, in the period of May – June, amounted to 19 with the total quantity of 152 m<sup>3</sup> of transported timber; in the second monitoring period, in July – August, there were 14 passages with the total quantity of 112 m<sup>3</sup> of hauled timber.

### 3. Results and discussion – Rezultati s raspravom

Statistical processing of the results shows that with the mentioned timber extraction tractor technology there is no statistically significant change in the shape

of the cross profile over time as regards the reinforcement technology types 1 and 3. Type 1 with a 20 cm layer of woodchips and both-sided enclosure in the geotextile achieves the best results. This solution proves to be more efficient than the solution with a higher layer of woodchips (30 cm) but without the geotextile separating the cover layer from the woodchips, although the difference is not large, as proven by the results of statistical processing, in which the  $p$ -values are 0.12458 for type 1 and 0.09103 for type 2. It turns out that the enclosure of chips including the edges and the formation of a sleeve-shaped body keeps the layer more compact. Russell (2015) reported similar findings. Comparing the deformation characteristics established by the static load test, the modulus of deformation values in both types are virtually the same, reaching  $E_{\text{def},2} = 14.3$  MPa and  $E_{\text{def},2} = 13.4$  MPa, respectively. These values are relatively low, but with respect to the results of the ANOVA, it is clear that the whole reinforcement system returns as much as possible back to the original position after the hauling

machinery passes. The investigation of the shapes of the curves of individual measurements when printed over each other (Fig. 8) shows that this is not an overall decline in the layer height in each measurement, but a combination of the reinforcement surface decline and rippling. The compaction rate as a ratio of the moduli of deformation from the second and the first load cycle is  $E_{\text{def},2}/E_{\text{def},1}$  1.74 and  $E_{\text{def},2}/E_{\text{def},1}$  2.79, respectively, for the two types of reinforcement. Standard ČSN 73 6126-1 Road building – Unbound courses – Part 1: Construction and conformity assessment, stipulates the requirement for the modulus of deformation  $E_{\text{def},2}/E_{\text{def},1}$  to be 2.5 at maximum, so only the first type of reinforcement fully meets the requirement. The higher value in the third type of reinforcement can be attributed to the missing geotextile between the woodchip layer and the cover layer, as the woodchips partially mix with the crushed stone. However, this proves to be an advantage when this technology is applied to places where the waterlogging alternates with periods of subgrade drying up. In such cases, the cover layer laid on the separation geotextile in the first type of reinforcement can get cracked by the drought or even break and slide over the geotextile to the side if the cross slopes are too steep. The cover layer proves to be an integral part of the entire reinforcement system. It eliminates the problems by passing over the woodchips alone. Eberly (2004) reported poor adhesion of wheels with woodchips in bad weather and loss of material caused by wheel acceleration – the layer is disrupted and woodchips are thrust to the sides. In this particular case, a thickness of 15 cm proved to be sufficient as opposed to data presented by Russell (2015).

By contrast, in reinforcement technology type 2, where woodchips were used instead of crushed stone to level the surface, the null hypothesis was not confirmed, the  $p$ -value is 0.00265. Based on the ANOVA, it can be concluded that there is a statistically significant change in the shape of the cross-section within repeated measurements over time. Additionally, the measured values of deformation characteristics are very low and the modulus of deformation from the second cycle of measurement  $E_{\text{def},2}$  is 9.9 MPa. Even though visually no significant differences can be seen among the three types of reinforcement, the statistical results show that this type of reinforcement cannot be recommended. It turns out that a well prepared and properly compacted and sloped subgrade is crucial for each type of reinforcement. Woodchips applied straight to unprepared and not sloped subgrade have a very poor effect. This corresponds to findings presented by Han et al. (2009) as well as Akay et al. (2007).

The results show that the presented reinforcement method can serve as an alternative technology for forest road reinforcement, in particular for small forest owners, who grow forests mainly as a source of firewood and use mostly farm technologies to transport the harvested timber. Alternatively, it is recommendable for locations where the forest does not perform primarily the economic function, or for protected nature sites. However, it is always necessary to prepare the subgrade first properly, fill in the missing material, and slope it to the required transverse inclination, as well as enclose the chip layer into the geotextile. The advantage of this solution is that the use of wood reduces the crushed stone in the composition. It is advantageous in places with a lack of local sources of crushed stone and when the distance between the material and the construction site is great. To create this type of reinforcement, it is possible to use the wood at the construction site so in the case of forest roads the need for material transport is eliminated. This solution is particularly useful for waterlogged sections of forest roads, where it allows undamaging passage and the presence of water at the same time extends the life of wood in the road formation, as reported by Schmidt et al. (1997). Most of the authors, who are engaged in the use of wood for the construction of forest road reinforcement, use the technology of log corduroy roads (Morris 1995, Wiest 1998, Sessions 2007). However, this technology is historical and manual, therefore time-consuming and laborious. The proposed technology of using woodchips can be implemented by machines, using the common building machinery. It can also be said that it is a qualitatively higher technology than technology of brushmats on operation trails. Labelle and Jeager (2012) pointed out that, for effective load distribution, the branches used to compose the brushmats should have high plasticity and bending strength under loading. Gurau et al. (2008) reported that the average compression strength of Scots pine branches is 56% lower than that of the stem. As the used material in the technology proposed is shredded wood and not only harvest residues, analogically with the technology of crushed stone, the individual particles of woodchips get wedged when being laid and compacted and they form a mechanically contiguous construction layer. This type of reinforcement will improve the load bearing capacity of the roads used in particular for seasonal operations, i.e., those that are formed from road formation or reinforced with operational reinforcement, or those that have unsealed road surface. The main advantages of the use of wood for forest road reinforcement are that it is renewable and that there is no extraction or moving of the ground during its production.

#### 4. Conclusion – *Zaključak*

The solution consists in the use of a layer of woodchips, which is installed with the geotextile inside the reinforcement structure. This technical solution to improve the load bearing capacity of forest roads is especially usable for multifunctional roads, which are not used primarily for timber hauling. From the perspective of implementation, the proposed solution is technically simple, efficient, and environment-friendly, feasible for small owners and road operators. It turns out that the reinforcement technology using woodchips is the most appropriate for forest roads that also perform the recreational function of the forest.

#### Acknowledgments – *Zahvala*

The project received funding from the Internal Grant Agency, Mendel University in Brno, no. LDF\_PSV\_2016016.

#### 5. References – *Literatura*

- Akay, A. E., Yuksel, A., Reis, M., Tutus, A., 2007: The impacts of ground-based logging equipment on forest soil. *Polish J. Environ. Stud.* 16(3): 371–376.
- Bettinger, P., Kellogg, L. D., 1993: Residual stands damage from cut-to-length thinning of second-growth timber in the Cascade Range of western Oregon. *For. Prod. J.* 43(11–12): 59–64.
- Bowman, J. K., Lidell, R. B., Schulze, G. B., 1987: The use of woodchips in low-volume road construction in the great lake states. *International Conference on Low Volume Roads*, 4<sup>th</sup>. Transportation Research Board, Ithaca, New York, USA 1106: 47–58.
- Blinn, Ch. R., Dahlman, R., Hislop, L., Thompson, A. M., 1998: Temporary Stream and Wetland Crossing Options for Forest Management. *United States Department of Agriculture*, 61 p.
- Brunberg, T., Nilsson, N., 1988: FMG 0470 Lillebror, bestnids-gende engreppsskrdare fr klena gallringar (One-grip harvester for first thinnings). *Skogsarbeten, Resultat* 13: 4.
- Buček, A., Lacina, J., 1999: *Geobiocenologie II*. 1<sup>st</sup> ed., Mendel University of Agriculture and Forestry, Brno, 240 p.
- Cline, M. L., Hoffman, B. F., Cyr, M., Bragg, W., 1991: Stand damage following whole-tree partial cutting in northern forests. *Northern Journal of Applied Forestry* 8(2): 72–76.
- Dahlman, R., Blinn, Ch., Stenlund, D., Chura, D., Steward, D., 2010: Temporary Stream Wetland & Soft Soil Crossings, *Minnesota Erosion Control Association*, 46 p.
- Eliasson, L., Wästerlund, I., 2007: Effects of slash reinforcement of strip roads on rutting and soil compaction on a moist fine-grained soil. *For. Ecol. Manage.* 252(1): 118–123.
- Eberly, S., 2004: Road Stabilization and Improvement Demonstration Project. *Conservation Almanac*, 13(3): 1–8.
- George, P., Williams, J.R., 1979: Woodchips for dust control on surface-mine haul roads. *Forest Service Research Note NE-227*. Broomall, USDA, 16 p.
- Gurau, L., Cionca, M., Mansfield-Williams, H., Sawyer, G., Zeleniuc, O., 2008: Comparison of mechanical properties of branch and stem wood for tree species. *Wood and Fiber Science* 40(4): 647–656.
- Han, S. K., Han, H. S., Page-Dumroese, D. S., Johnson, L., 2009: Soil compaction associated with cut-to-length and whole tree harvesting of coniferous forest. *Can. J. For. Res.* 39(5): 976–989.
- Jakobsen, B. F., Moore, G. A., 1981: Effects of two types of skidders and of slash cover on soil compaction by logging of mountain ash. *Australian J. For. Res.* 11: 247–255.
- Johnson, W. P., 2014: The Corduroy Road from Fairfax Court House to Fairfax Station. *The Fare Facs Gazette* 11(2): 4–11.
- Labelle, E. R., Jaeger, D., 2011: Soil compaction caused by cut-to-length forest operations and possible short-term natural rehabilitation of soil density. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75(6): 2314–2329.
- Labelle, E. R., Jaeger, D., 2012. Quantifying the Use of Brushmats in Reducing Forwarder Peak Loads Surface Contact Pressures. *Croat. J. For. Eng.* 33(2): 249–274.
- Lay, M. G., 1992: *Ways of the World: A History of the World's Roads and of the Vehicles that Used Them*. Rutgers University Press, 43 p.
- Makovník, Š., Jurík, L., Beneš, J., Kompan, F., 1973: *Inžinierske stavby lesnícké*. Příroda, Bratislava, 710 p.
- McDonald, T. P., Seixas, F., 1997: Effect of slash cover on forwarder soil compaction. *Int. J. For. Eng.* 8(2): 15–26.
- McMahon, S., Evanson, T., 1994: The effect of slash covers in reducing soil compaction resulting from vehicle passage. *LIRO report*. Rotorua, MZ. 19(1): 1–8.
- McMullen, J. P., Shupe, S. D., 2002: Effects of brushmat/corduroy roads wetlands within ringhts-of-way after pipeline construction, *Seventh international symposium on environmental concerns in roghts-of-way-management*, Elsevier science, 471–482.
- Meyer, L. D., Johnson, C. B., Foster, G. R., 1972: Stone and wood chip mulches for erosion control on construction sites. *J. Soil and Water Conserv.* 27 (6): 264–269.
- Ministry of Transport of the Czech Republic, 2004: Design of pavement structures TP 170, 100 p.
- Morris, J. M., 1995: *Earth Roads*. Aldershot: Avebury, 304 p.
- Olsen, H. J., Wästerlund, I., 1989: Terrain and vehicle research with reference to forestry at Swedish University of Agriculture. *Garpenberg: The Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Operational Efficiency*. Garpenberg, 60 p.

- Owende, P. M. O., Lyons, J., Haarlaa, R., Pelto, A., Spinelli, R., Molano, J., Ward, S. M., 2002: Operations protocol for ecoefficient wood harvesting on sensitive sites. Project ECO-WOOD, 74 p.
- Richardson, R., Makkonen, I., 1994: The performance of cut-to-length systems in eastern Canada. For. Eng. Res. Inst. Of Canada, Tech. rep. No. TR-109.
- Russell, M. L., 2015: Stabilizing Sand Roads with Wood Products and Byproducts. Journal of the Transportation Research Record 2473: 164–171.
- Sessions, J., 2007: Forest Road Operations in the Tropics. Heidelberg, Springer, 184 p.
- Shook, L., 1988: Using chunkwood to build low volume roads. Public Works 119(10): 105–106.
- Sirén, M., 2001: Tree Damage in Single-Grip Harvester Thinning Operations. International Journal of Forest Engineering 12(1): 1–8.
- Schmidt, E., Cochran, G., Schrader, C., Lukanen, E., 1997: Evaluation of poplar woodchips after 19 years of burial as swamp roadway fill. Forest Products Journal 47(7–8): ProQuest 72 p.
- Institute for Technology Standardization, Metrology, and State Testing, 2012: ČSN EN 13286-47 (736185) – Unbound and hydraulically bound mixtures – Part 47: Test method for the determination of California bearing ratio, immediate bearing index and linear swelling, 12 p.
- Institute for Technology Standardization, Metrology, and State Testing, 2010: ČSN 73 6133 (736133) – Road earthwork – Design and execution, 68 p.
- Institute for Technology Standardization, Metrology, and State Testing, 2015: ČSN 72 1006 – Compaction control of engineering fills, 44 p.
- Institute for Technology Standardization, Metrology, and State Testing, 2006: ČSN 73 6126-1 Road building – Unbound courses – Part 1: Construction and conformity assessment, 12 p.
- Tufts, R. A., Brinker, R.W., 1993: Valment's woodstar series harvesting system: a case study. Southern. J. Applied. For. 17(2): 69–74.
- The US Federal Highway Administration, 2016: <[http://www.fhwa.dot.gov/environment/recreational\\_trails/publications/fs\\_publications/01232833/toc.cfm](http://www.fhwa.dot.gov/environment/recreational_trails/publications/fs_publications/01232833/toc.cfm)> (31<sup>st</sup> August 2016).
- Wiest, R. L., 1998: A Landowner's Guide to Building Forest Access Roads. Radnor: USDA, 1–45.
- Wronski, E. B., Stodart, D. M., Humphreys, N., 1990: Trafficability assessment as an aid to planning logging operations. Appita, 43(1): 18–22.

## Sažetak

### *Mogućnost uporabe prosušene drvene sječke pri mehaničkoj stabilizaciji donjega ustroja šumskih cesta*

Tematika rada vezana je uz mogućnost uporabe biotehničkih mjera pri stabilizaciji donjega ustroja šumskih cesta na dionicama gdje je razina podzemne vode vrlo visoka, odnosno gdje dolazi do prekomjernoga vlaženja nosivoga donjega ustroja šumske ceste. Vrlo se često radi o kratkim dionicama koje usprkos svojoj kratkoći mogu otežati ili blokirati pristup većemu ili manjemu šumskom kompleksu. U povijesti su se te problematične dionice šumskih cesta stabilizirale upotrebom višemetarskoga prostornoga drva, odnosno drvenim talpama. Trenutačno u svijetu postoji težnja osuvremenjivanju biotehničkih mjera radi zamjene višemetarskoga prostornoga drva, korištenoga pri stabilizaciji donjega ustroja kritičnih dionica šumskih cesta, prosušenom drvenom sječkom. U ovom je radu istraživana mogućnost stabilizacije kritičnih dionica šumskih cesta u uvjetima prekomjernoga vlaženja upotrebom prosušene drvene sječke. Da bi se utvrdile najbolje metode stabilizacije, u radu su testirane tri različite tehnologije stabilizacije kombinirajući upotrebu prosušene drvene sječke, geotekstila i lomljenoga kamena. Stabilizirane dionice šumske ceste, nakon izgradnje, podvrgnute su prometnom opterećenju nastalom tijekom uobičajenih radnih operacija u šumarstvu: sječa, izrada i privlačenje drvnih sortimenata. Mjeren je modul deformacije kolničke konstrukcije te su utvrđivana ostala svojstva oštećenja uočenih na pojedinoj mjernoj plohi. Naposljetku, promatrane su promjene u izgledu poprečnih profila. Rezultati pokazuju da se ni pri vrlo malim vrijednostima modula deformacija statistički značajno ne razlikuju promjene u izgledu poprečnoga profila kod dviju od triju testiranih tehnologija stabilizacije. Dobiiveni rezultati upućuju na to da se dvije testirane tehnologije stabilizacije kod kojih ne postoji statistički značajna razlika u izgledu poprečnoga profila mogu koristiti pri stabilizaciji donjega ustroja na dionicama šumskih cesta koje su izložene prekomjernoj vlažnosti. Glavna prednost upotrebe takve vrste stabilizacije donjega ustroja šumskih cesta očituje se u činjenici da se primjenjuje materijal dobiven iz obnovljivoga izvora te da tijekom stabilizacije ne dolazi do iskopa i transportiranja slabonosivoga materijala koji se nalazi na kritičnoj dionici šumske ceste.

*Ključne riječi:* šumska cesta, stabilizacija, traktorski put, drvena sječka, provoznost



---

Authors' addresses – *Adresa autorâ:*

Assoc. prof. Petr Hruza, PhD.\*

e-mail: petr.hruza@mendelu.cz

Petr Pelikán, PhD.

e-mail: petr.pelikan@mendelu.cz

Jaroslav Blahuta, MSc.

e-mail: blahuta.jaroslav@gmail.com

Mendel University in Brno

Faculty of Forestry and Wood Technology

Department of Landscape Management

Zemědělská 3

Brno 613 00

CZECH REPUBLIC

Jiří Nedorost, mag. ing. silv.

e-mail: jiri@nedorost.cz

Zdeněk Patočka, PhD.

e-mail: zdenek.patocka@mendelu.cz

Mendel University in Brno

Faculty of Forestry and Wood Technology

Department of Forest Management and Applied Geo-informatics (FFWT)

Zemědělská 3

Brno 613 00

CZECH REPUBLIC

Received (*Primljeno*): August 29, 2016.

Accepted (*Prihvaćeno*): September 23, 2016.

\* Corresponding author – *Glavni autor*



# Analiza utjecajnih čimbenika pri mehaniziranoj izradi kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva

Dino Friščić, Tomislav Poršinsky, Željko Zečić, Dinko Vusić

## Nacrtač – Abstract

Postavljen je cilj da se detaljno istraži utjecaj odabranih svojstava sirovine (promjera obloga energijskoga drva i vrste drva te udjela vode) na učinkovitost pojedinih radnih zahvata, posebice prepiljivanja i cijepanja za koje se na temelju rezultata prethodnih istraživanja očekuje utvrđivanje ovisnosti o tim svojstvima sirovine.

Radi utvrđivanja učinkovitosti mehanizirane izrade kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva strojem Posch Spaltfix S-360 primijenjena je protočna metoda kronometrije. Utvrđeni su radni zahvati efektivnoga vremena i prekidi rada te izmjereni trošci vremena i ostvareni učinci. Višestrukom regresijskom analizom istražena je ovisnost troška vremena pojedinih radnih zahvata o promjeru obloga energijskoga drva i vrsti drva te udjelu vode. Konstruiran je model za izračun proizvodnosti izrade kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva na temelju signifikantnih utjecajnih parametara.

Istraživanjem je utvrđeno da promjer obloga energijskoga drva pozitivno utječe na proizvodnost istraživanoga procesora Posch Spaltfix S-360 sukladno zakonu obujma komada. Osim pozitivnoga utjecaja na proizvodnost utvrđen je i statistički značajan utjecaj promjera višemetarskoga obloga energijskoga drva na povećanje troška vremena radnoga zahvata prepiljivanja.

Značajno povećanje kakvoće, a time i vrijednosti istraživanoga ogrjevnoga drva moguće je postići optimiziranjem prirodnoga prosušivanja sirovine ili proizvoda radi dostizanja 25 % i manje udjela vode. No, i prirodno prosušivanje i sortiranje ulazne sirovine radi ujednačivanja dimenzija konačnoga proizvoda zahtijevaju jednoličnu i stalnu dobavu dostatne količine sirovine.

Rezultati istraživanja trebaju poslužiti optimizaciji proizvodnoga sustava čiju okosnicu čini istraživani procesor, ali i upozoriti na opće zakonitosti utjecaja odabranih svojstava sirovine na očekivanu proizvodnost izrade kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva procesorima.

Ključne riječi: promjer, prepiljivanje, cijepanje, obična bukva, obični grab, kakvoća proizvoda

## 1. Uvod – Introduction

Ogrjevno se drvo stoljećima proizvodilo na tradicionalan način izradom cjepanica, oblica i sječenice. No, već 1979. godine normom koja propisuje svojstva ogrjevnoga drva (JUS DB.5.023) dopušta se mogućnost izrade ogrjevnoga drva u obliku »oblovine za ogrjev« duljine preko 1 m. Naime, temeljem rezultata znanstvenih istraživanja utvrđena je ekonomska (Tomanić 1974, Tomićić 1975, Tomićić 1983, Tomićić 1984), ergo-

nomska (Tomanić 1974) i energijska (Bojanin i dr. 1990) nepogodnost tradicionalnoga načina izrade ogrjevnoga drva u obliku jednometarskih cjepanica. Osim nepovoljnoga troška vremena, energije i kapitala prilikom izrade ogrjevnoga drva na tradicionalan način, poseban je problem bio i transport izrađenih jednometarskih cjepanica i oblica, ponajprije primarni, koji se u prošlosti oslanjao na značajan angažman samarice pri iznošenju, ali i daljinski s obzirom na nužnost ručnoga utovara i istovara. Prijelazno je rješenje potraženo

konstrukcijom priključaka za poljoprivredne traktore (nosivih dasaka i poluprikolica) i uređaja za paketiranje (Tomičić 1975). No, već je tada prepoznata i nužnost redefiniranja cjelokupnoga sustava pridobivanja drva radi mehanizacije privlačenja prostornoga drva i radi jednoličnoga zapošljavanja kapaciteta na privlačenju tijekom proizvodne godine te osiguravanja stalne dobave svježih i jednoličnih sirovina industriji celuloze i industriji drvnih ploča (Vusić i Đuka 2015).

Ogrjevno drvo izrađeno u višemetarskom obliku tražilo je i značajniji angažman krajnjega korisnika prije same uporabe. Prerezivanje na željenu duljinu obavljano je motornim pilama lančanicama te tračnim i kružnim pilama različite konstrukcijske izvedbe, a cijepanje najčešće ručnim alatima ili različitim traktorskim cjepačima. Terezin i Vinković (1983) prepoznaju navedene probleme i predlažu izradu kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva na pomoćnom ili na glavnom stovarištu. Iako u svom radu opisuju cijeli lanac dobave, a svoje tvrdnje argumentiraju i izračunom znatnih ušteda, predloženi proizvodni sustav nije značajnije oživio u praksi. Najvjerojatniji razlog navedenom leži u spoznaji da lokalno stanovništvo u seoskim krajevima potrebe za ogrjevnim drvom najčešće namiruje samoizradom u državnim ili vlastitim šumama, a stanovništvo se u gradovima uglavnom oslanja na komfornije energente za grijanje.

Osim tradicionalnoga načina proizvodnje, prodaje i uporabe jednometarskoga (i lokalno prerađenoga višemetarskoga) ogrjevnoga drva, posljednjih godina veći broj poduzeća započinje proizvodnju kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva (Vusić i dr. 2015). Iako se većina proizvodnje plasira na izvozna tržišta, i domaćim je potrošačima danas dostupno kratko rezano i cijepano ogrjevno drvo na paletama (najčešće  $1 \times 1 \times 1,8$  m), koje s obzirom na dimenzije (duljine 25 cm, 33 cm i 50 cm) predstavlja oblik čvrstoga biogoriva pogodan za neposrednu uporabu. Kratko rezano i cijepano ogrjevno drvo duljine 50 cm koristi se za loženje sustava centralnoga grijanja obiteljskoga tipa, dok se za loženje kamina i manjih peći koristi ogrjevno drvo duljina od 25 cm i 33 cm. Sirovinu za preradu čini višemetarsko oblo energijsko drvo, najčešće običnoga graba i obične bukve, a potom i drugih vrsta tvrdih listača. Prerada se uglavnom obavlja u specijaliziranim pogonima čiju okosnicu čini procesor za izradu kratko rezanoga i cijepanoga drva.

Procesori za izradu kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva konstrukcijski se razlikuju s obzirom na planiranu lokaciju uporabe (stacionarni ili nošeni), pogon (elektromotor ili kardansko vratilo traktora), izvedbu uređaja za prepiljivanje (pila lančanica ili kružna pila) i stupanj automatizacije. Prema stupnju automatizacije razlikuju se potpuno automatizirani procesori

i djelomično automatizirani kod kojih je potrebno pomicanjem ručke na kontrolnoj jedinici obaviti cijepanje. S obzirom na varijabilnost promjera ulazne sirovine i željenoga promjera konačnoga proizvoda pojedini tipovi procesora imaju mogućnost prilagodbe visine noža cjepača i promjene broja i rasporeda oštrica.

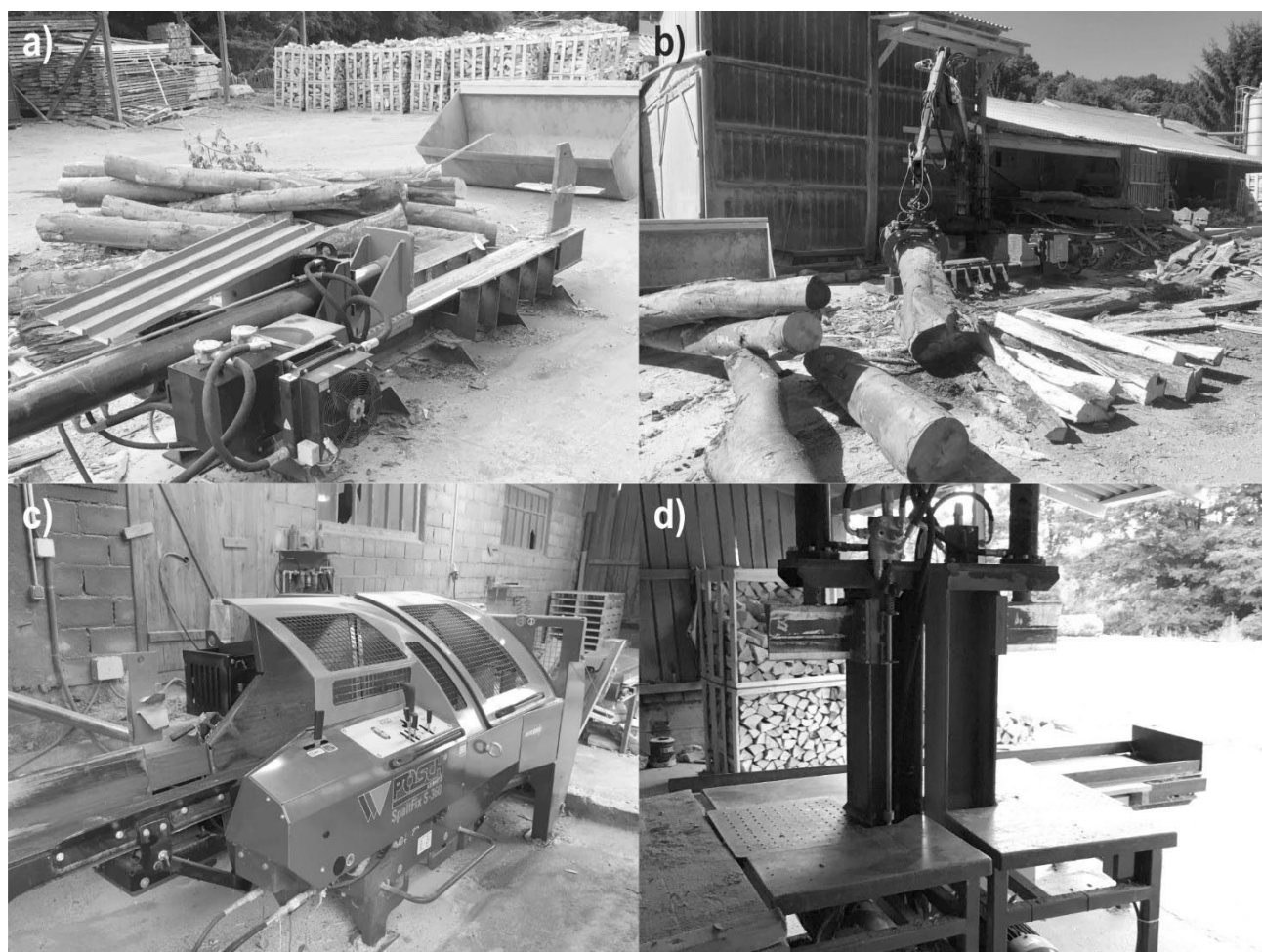
Na odabir prikladnoga procesora najveći utjecaj ima nabavna cijena stroja s obzirom na planirani obujam godišnje proizvodnje i usklađenost tehničkih svojstava stroja (najvećega promjera prepiljivanja i snage cijepanja) sa svojstvima postojeće sirovine. U planu investicija presudna je i moguća proizvodnost procesora koju je donekle moguće procijeniti na temelju podataka proizvođača ili iskustava iz uporabe sličnih strojeva. Iskustveni podaci, s obzirom na značajnu varijabilnost sirovine i raznolika tehnička rješenja, najčešće su također samo procjena stvarnih mogućnosti u stvarnom proizvodnom sustavu. Poseban je problem i prilično malen broj znanstvenih objava usporedivih istraživanja proizvodnosti i troškova rada strojeva za izradu kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva te kakvoće proizvedenoga ogrjevnoga drva (Kärhä i Jouhio 2009). Dostupni rezultati recentnih znanstvenih istraživanja (Lindros 2008, Kärhä i Jouhio 2009, Manzone i Spinelli 2014, Cavalli i dr. 2014, Vusić i dr. 2015) potvrđuju prethodno spomenutu varijabilnost rezultata proizvodnosti i upućuju na nužnost nastavka detaljnih istraživanja utjecaja svojstava sirovine na učinkovitost pojedinih radnih zahvata i proizvodnost cjelokupnoga proizvodnoga sustava.

Cilj je istraživanja da se detaljno ispita utjecaj odabranih svojstava sirovine (promjera obloga energijskoga drva i vrste drva te udjela vode) na učinkovitost pojedinih radnih zahvata, posebice *prepiljivanja* i *cijepanja* za koje se na temelju rezultata prethodnih istraživanja očekuje utvrđivanje ovisnosti o tim svojstvima sirovine, posebice u slučaju postojanja mogućnosti potpuno odvojene analize radnih zahvata s obzirom na konstrukciju procesora (odnosno izostanak preklapanja radnih zahvata.) Rezultati istraživanja trebaju poslužiti optimizaciji proizvodnoga sustava čiju okosnicu čini istraživani procesor, ali i upozoriti na opće zakonitosti utjecaja odabranih svojstava sirovine na očekivanu proizvodnost izrade kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva procesorima.

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

Istraživanje je provedeno u lipnju 2016. godine u pogonu za izradu kratko rezanoga i cijepanoga drva tvrtke »Pilana proizvodnja i trgovina vl. Vlado Friščić«, smještenom u Dubravi Križovljanskoj nedaleko od Va-





**Slika 1.** Strojevi u proizvodnom sustavu: a) horizontalni cjepač, b) utovarni kran, c) procesor, d) vertikalni cjepači

**Fig. 1** Machines in the production system: a) horizontal splitter; b) loading crane; c) processor; d) vertical splitters

raždina. Proizvodni se sustav temelji na horizontalnom cjepaču za višemetarsko oblo energijsko drvo većih promjera (slika 1a) i utovarnom kranu (slika 1b), utovarnoj rampi (i lančanom transporteru), djelomično automatiziranom procesoru Posch Spaltfix S-360 (slika 1c) i dvama vertikalnim cjepačima (slika 1d) za ujednačivanje dimenzija (promjera) izlaznoga proizvoda.

Proces prerade višemetarskoga obloga energijskoga drva u kratko rezano i cijepano ogrjevno, u istraživanom pogonu, počinje transportom sirovine sa stovarišta u prostor dosega utovarnoga kрана. S obzirom na dostupnu količinu sirovine (limitiranu zalihu) i povoljnu potražnju za gotovim proizvodom sortiranje prema dimenzijama i trajanju prosušivanja najčešće nije moguće provesti. Stovište, kratko se rezano i cijepano ogrjevno drvo izrađuje i iz sirovine koja promjerom nadmašuje mogućnost procesora pa je nužno obaviti primarno cijepanje horizontalnim cjepačem (navedena sirovina nije bila predmet istraživanja). Utovarnim se

kranom obavlja utovar višemetarskoga obloga energijskoga drva na utovarnu rampu. Sljedi transport komada višemetarskoga obloga energijskoga drva lančanim transporterom. Transport se nastavlja tračnim transporterom (koji je sastavni dio procesora) prema mjestu na kojem komad višemetarskoga obloga energijskoga drva uglavljuje klin prije samoga prepiljivanja kako se ne bi nenadano pomicao. Prepiljivanje na željenu duljinu obavlja se kružnom pilom, a nakon toga prepiljeni komad obloga drva pada u položaj u kojem je u ravnini s hidrauličnim cilindrom. Zatim hidraulični potisnik obavlja cijepanje komada prepiljenoga obloga drva potiskivanjem kroz sječivo. Komadi tako proizvedenoga kratko rezanoga i cijepanoga drva padaju (ili ih potiskuje sljedeći cijepani komad) na izlazni transporter (s prečkama) koji ih transportira do mjesta na kojem se obavlja razvrstavanje po promjeru i slaganje u palete. Uzastopnim transportom tračnim transporterom, prepiljivanjem na željenu duljinu i cij-

epanjem komad se višemetarskoga obloga energijskoga drva prerađuje u komade kratko rezanoga i cijepanoga drva. Iako se sječivo cjepača može prilagoditi promjeru ulazne sirovine, s obzirom na čest izostanak sortiranja po promjeru ulazne sirovina, a sukladno specifikaciji narudžbe, pojedine je komade nužno dodatno usitniti. Dodatno se usitnjavanje obavlja vertikalnim cjepačem (nije predmet ovoga istraživanja).

Istraživani stroj za izradu kratko rezanoga i cijepanoga drva proizvod je austrijske tvrtke »Posch« sa sjedištem u Lebnitzu. Posch Spaltfix S-360 pripada kategoriji nošenih procesora, stoga može biti pokretan pomoću kardanskoga vratila traktora ili pomoću elektromotora. Sastavni dijelovi procesora su: tračni transporter za dopremu obloga energijskoga drva u položaj za prepiljivanje, uređaj za prepiljivanje (kružna pila WIDIA), hidraulični cilindar potisne snage 12 t, izlazni transporter (s prečkama) te kontrolna i upravljačka jedinica, uređaj za usisavanje piljevine i elektromotor snage 22 kW. Duljina procesora iznosi 370 cm, širina 190 cm, visina 160 cm, a masa procesora iznosi 1260 kilograma. Nabavna cijena novoga procesora iznosi  $\approx 160\,000$  kn. Procesor je konstruiran za izradu komada kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva u duljinama od 25 cm do 50 cm, a najveći promjer obloga energijskoga drva koji se procesorom može preraditi iznosi 35 cm.

Tijekom istraživanja prerađivano je višemetarsko oblo energijsko drvo obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) i običnoga graba (*Carpinus betulus* L.) ujednačene duljine  $4,0 \pm 0,1$  m (s ciljem ograničavanja varijabilnosti utjecajnih čimbenika). Kratko rezano i cijepano drvo izrađivano je u ciljanim duljinama od 25 cm.

Komadi višemetarskoga obloga energijskoga drva odabrani su i prerađivani nasumično, bez razvrstavanja na debljinske razrede. Prethodno je svakomu komadu višemetarskoga obloga energijskoga drva izmjeren promjer i određena vrsta drva, a podaci su pridruženi evidencijskomu broju kojim je obilježeno čelo svakoga komada.

Istraživanje učinkovitosti izrade kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva provedeno je snimanjem digitalnom kamerom uz naknadnu analizu snimaka (očitanje na 0,01 s). Protočnom metodom kronometrije utvrđeni su troškovi vremena, raščlanjeni na radne zahvate efektivnoga vremena te vremena prekida.

Granice opažanja za promatrani ciklus izrade (jedan komad višemetarskoga obloga energijskoga drva) postavljene su na trenutak u kojem počinje pomicanje komada višemetarskoga obloga energijskoga drva po utovarnoj rampi kao početak ciklusa izrade te na završetak potiskivanja zadnjega prerezanoga komada hidrauličnim potisnikom kroz sječivo kao kraj ciklusa



**Slika 2.** Položaj digitalne kamere prilikom snimanja

**Fig. 2** Position of digital camera when recording

izrade. Fiksažnom je točkom ciklus izrade podijeljen na radne zahvate:

- ⇒ *pomicanje* komada obloga energijskoga drva po utovarnoj rampi koje završava početkom transporta
- ⇒ *transport* komada obloga energijskoga drva ulaznim transporterom (lančanim i tračnim) do uređaja za prepiljivanje koji završava trenutkom u kojem počinje prepiljivanje
- ⇒ *prepiljivanje* koje završava početkom pomicanja hidrauličnoga cilindra pri cijepanju
- ⇒ *cijepanje* koje traje do završetka potiskivanja prepiljenoga komada drva kroz sječivo.

Vremena *prekida* izdvojena su iz efektivnih vremena i posebno evidentirana.

Svaki je radni zahvat (i vrijeme prekida) snimljen i evidentiran u bazi podataka »Excel« na razini komada višemetarskoga obloga energijskoga drva poznatoga srednjega promjera i vrste drva. Za svaki komad obloga energijskoga drva izračunat je zbroj prethodno analiziranih uzastopnih radnih zahvata raščlanjenih na razinu jednoga komada kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva duljine 25 cm. Baza je podataka pročišćena izostavljanjem ekstremnih vrijednosti (odstupanje veće od tri standardne devijacije od aritmetičke sredine). Statistička je obrada nastavljena u programskom paketu »Statistica«. Deskriptivnom statističkom analizom utvrđene su prosječne, najmanje i najveće vrijednosti troška vremena pojedinih radnih zahvata po vrsti drva. Provedene su višestruke regresijske analize ovisnosti troška vremena za *pomicanje* po utovarnoj rampi, *transport* ulaznim transporterom, *prepiljivanje* i *cijepanje* o promjeru komada obloga energijskoga drva i vrsti



drva (koja je prikazana binarnom varijablom 0 ∨ 1). Utvrđena je ovisnost utroška vremena za *prepiljivanje* o promjeru komada obloga drva i vrsti drva te ovisnost utroška vremena *cijepanja* o vrsti drva. Radi preglednosti u grafičkom je obliku prikazana samo linearna ovisnost utroška vremena radnih zahvata *prepiljivanje* i *cijepanje* o promjeru komada obloga energijskoga drva pojedine istraživane vrste drva. Za radne zahvate *pomicanje* po utovarnoj rampi i *transport* ulaznim transporterom (za koje nije utvrđena ovisnost ni o promjeru komada obloga drva ni o vrsti drva) proveden je *t*-test za nezavisne uzorke koji je potvrdio da ne postoji statistički značajna razlika u utrošku vremena navedenih radnih zahvata između istraživanih vrsta drva.

Model za izračun proizvodnosti izrađen je na temelju pripadajućih regresijskih jednadžbi varijabilnoga vremena (za *prepiljivanje* i *cijepanje*) i prosječnoga utroška ostaloga vremena te očekivanoga obujma proizvoda (na temelju dimenzija ulazne sirovine zanemarujući otpad koji nastaje prilikom *prepiljivanja*).

Vrijeme prekida nije podrobno analizirano jer zbog trajanja snimanja ne daje stvarni uvid u strukturu dodatnoga vremena. No, analizom prekida, prilikom obrade snimaka, uočeno je da se glavnina evidentiranoga vremena odnosila na povremeni rad. Stoga su svi evidentirani prekidi priznati i u modelu za izračun proizvodnosti dodani efektivnomu vremenu u obliku jedinstvenoga faktora dodatnoga vremena za obje vrste drva.

Tijekom snimanja od svakoga prerađenoga komada višemetarskoga obloga energijskoga drva slučajnim su odabirom izdvojena po četiri komada kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva. Svakomu je komadu izmjerena duljina u centimetrima i određen promjer u centimetrima sukladno HRN EN ISO 17225-5 (slika 3) te evidentirana prisutnost/odsutnost tragova truleži. Nadalje, slučajnim je odabirom za svaku vrstu drva uzorkovano dvadeset komada kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva prvotnoga uzorka radi utvrđivanja tehničkoga masenoga udjela vode. Navedeni su uzorci dodatno usitnjeni vertikalnim cjepečem i podvrgnuti gravimetrijskoj analizi sukladno normi HRN EN ISO 18134-2. Laboratorijske su analize provedene u Laboratoriju za šumsku biomasu Šumarskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

### 3. Rezultati – Results

#### 3.1 Učinkovitost izrade kratko rezanoga i cijepanoga drva – Efficiency of chopped firewood production

Tijekom ukupno snimljenih 99,55 min prerađeno je 37 komada višemetarskoga obloga energijskoga



**Slika 3.** Pojednostavljena metoda mjerenja promjera kratko rezanoga i cijepanoga drva

**Fig. 3** Simplified method of measuring the diameter of chopped firewood

drva obične bukve (prosječnoga promjera  $19,4 \pm 4,2$  cm) ukupnoga obujma  $4,547 \text{ m}^3$ , što čini ostvarenu proizvodnost od  $2,74 \text{ m}^3/\text{h}$  (uključujući otpad). U strukturi ukupno snimljena vremena 3,9 % utrošeno je na *pomicanje* po utovarnoj rampi, 15,1 % na *transport*, 22,6 % na *prepiljivanje*, 32,2 % na *cijepanje* i 26,1 % na *prekide* rada. Prilikom izrade kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva obične bukve zabilježeno je ukupno 85 *prekida*. Najveći dio *prekida* otpada na namještanje komada višemetarskoga obloga energijskoga drva na ulaznom transporteru kako bi bilo moguće njegovo transportiranje i *prepiljivanje* te na namještanje zadnjega *prepiljenoga* komada obloga energijskoga drva kako bi ga zahvatio klin cjepeča i kako bi se omogućilo *prepiljivanje* na željenu duljinu.

Tijekom ukupno snimljenih 132,64 min prerađen je 51 komad višemetarskoga obloga energijskoga drva običnoga graba (prosječnoga promjera  $18,4 \pm 3,8$  cm) ukupnoga obujma  $5,645 \text{ m}^3$ , što čini ostvarenu proizvodnost od  $2,55 \text{ m}^3/\text{h}$  (uključujući otpad). U strukturi ukupno snimljena vremena 3,5 % utrošeno je na *pomicanje* po utovarnoj rampi, 15,2 % na *transport*, 15,3 % na *prepiljivanje*, 39,5 % na *cijepanje* i 26,5 % na *prekide* rada. Prilikom izrade kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva običnoga graba zabilježena su ukupno 102 *prekida* od čega najveći dio otpada na iste *prekide* – povremene radove kao i pri preradi obloga energijskoga bukova drva.

Provedenim višestrukim regresijskim analizama, očekivano, nije utvrđena ovisnost utroška vremena za *pomicanje* po utovarnoj rampi ni o promjeru ( $p=0,24298$ ), ni o vrsti višemetarskoga obloga energijskoga drva

**Tablica 1.** Rezultati *t*-testa ovisnosti utroška vremena za *pomicanje* i *transport* o vrsti drva**Table 1** Results of time consumption for moving and transport vs. wood species *t*-test

Radni zahvat Work element	Prosječna vrijednost Average value		<i>t</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	Uzorak, N Sample, N		Standardna devijacija Standard deviation		<i>F</i> -ratio variances	<i>P</i> variances
	B	G				B	G	B	G		
Pomicanje – Moving, s	6,172	5,521	0,4936	83	0,6229	34	51	6,0385	5,9066	1,0452	0,8726
Transport – Transport, s	24,028	23,645	0,4594	83	0,6472	34	51	3,8973	3,6813	1,1208	0,7036

B – obična bukva – *European beech*; G – obični grab – *European hornbeam*

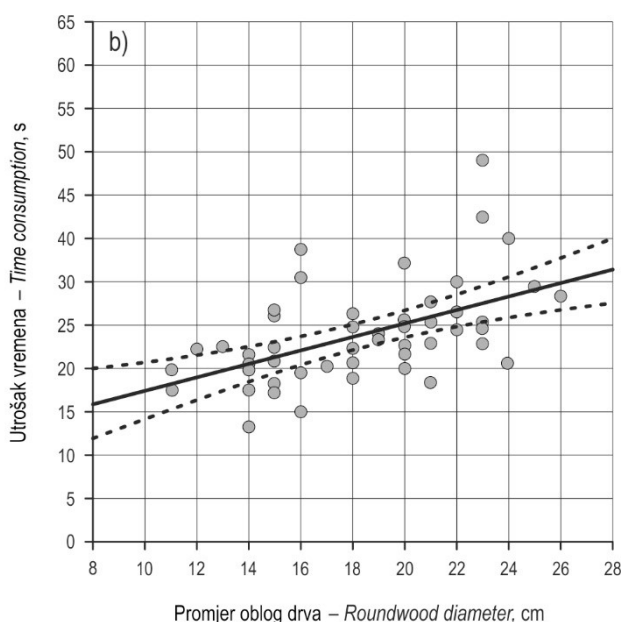
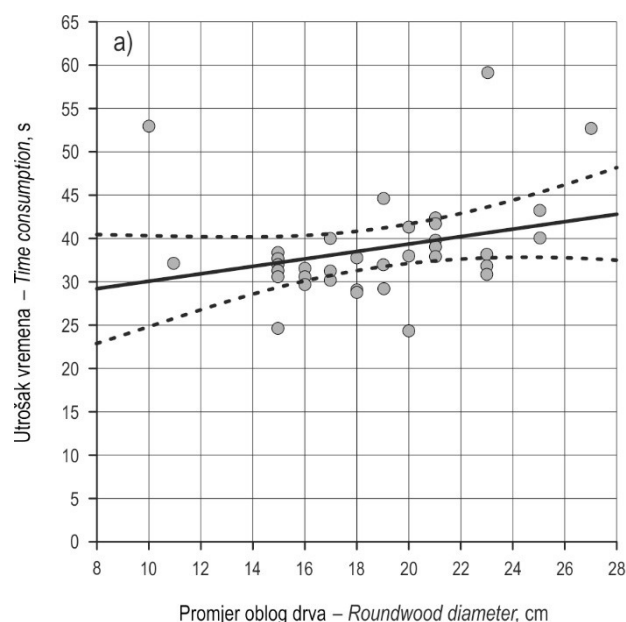
( $p = 0,66950$ ), ni kao utroška vremena za *transport* o istim nezavisnim varijablama ( $p = 0,67901$ ;  $p = 0,63283$ ). Razlozi vjerojatno leže u logičnoj pretpostavci većega utjecaja moguće zakrivljenosti komada i pojavnosti kvrga od samoga promjera komada, ali i u necikličkom pojavljivanju i evidentiranju utroška vremena za *pomicanje* (odnosno u evidentiranju zastoja pri radnom zahvatu u vremena prekida). Utrošak vremena za *transport* inače logično ovisi ponajprije o duljini obloga energijskoga drva, utjecajnom čimbeniku kojemu je postavkama pokusa ograničena varijabilnost ( $4,0 \pm 0,1$  m).

Rezultati *t*-testa potvrđuju nepostojanje statistički značajne razlike između utroška vremena za *pomicanje* po utovarnoj rampi i *transport* ulaznim transporterom s obzirom na vrstu višemetarskoga obloga energijskoga drva (tablica 1). Stoga su u modelu za izračun proizvodnosti korištene prosječne vrijednosti zajedničkoga skupa podataka: za *pomicanje* po utovar-

noj rampi 5,8 s/kom., a za *transport* ulaznim transporterom 23,8 s/kom.

Ovisnost utroška vremena za prepiljivanje o promjeru komada obloga drva prikazana je grafički na slici 4a za višemetarsko oblo energijsko drvo obične bukve, odnosno na slici 4b za višemetarsko oblo energijsko drvo običnoga graba. Rezultati višestruke regresijske analize statistički potvrđuju evidentnu ovisnost utroška vremena o promjeru, ali i o vrsti obloga energijskoga drva (tablica 2), a jednadžbom izjednačenja objašnjeno je 51,61 % varijabilnosti utroška vremena.

Evidentna neovisnost utroška vremena za cijepanje o promjeru komada obloga drva, prikazana grafički na slici 5a za oblo energijsko drvo obične bukve, odnosno na slici 5b za oblo energijsko drvo običnoga graba, potvrđena je i preliminarnom višestrukom regresijskom analizom ( $p = 0,5464$ ) koja pak ukazuje na signifikantan utjecaj vrste drva ( $p = 0,00007$ ). Izostavljanjem

**Slika 4.** Odnos utroška vremena za *prepiljivanje* i promjera oblovine; a) obična bukva, b) obični grab**Fig. 4** Time consumption for cross-cutting vs. roundwood diameter; a) *European beech*; b) *European hornbeam*



**Tablica 2.** Rezultati višestruke regresijske analize ovisnosti utroška vremena za *prepiljivanje* o promjeru i vrsti obloga energijskoga drva  
**Table 2** Multiple regression results of dependence of time consumption for cross-cutting on diameter and species of energy roundwood

Varijabla – Variable	$\beta$	Standardna pogreška $\beta$ Std. err. $\beta$	$B$	Standardna pogreška $B$ Std. err. $B$	t (82)	p-razina p-level
Odsječak na osi y Intercept			21,83110	3,030620	7,20351	<0,000001
Promjer obloga energijskoga drva ( $d_s$ ), cm Energy roundwood diameter ( $d_s$ ), cm	0,319095	0,076940	0,63640	0,153449	4,14730	0,000082
Vrsta drva (VD); (0 – bukva √ 1 – grab) Wood species (VD); (0 – beech √ 1 – hornbeam)	-0,626073	0,076940	-9,65167	1,186128	-8,13712	<0,000001
$N = 85$ $R = 0,7184$ ; $R^2 = 0,5161$ ; Adj. $R^2 = 0,5043$ $F(2,82) = 43,726$ ; $p < 0,0001$ ; Std. err. est.: 5,3490						

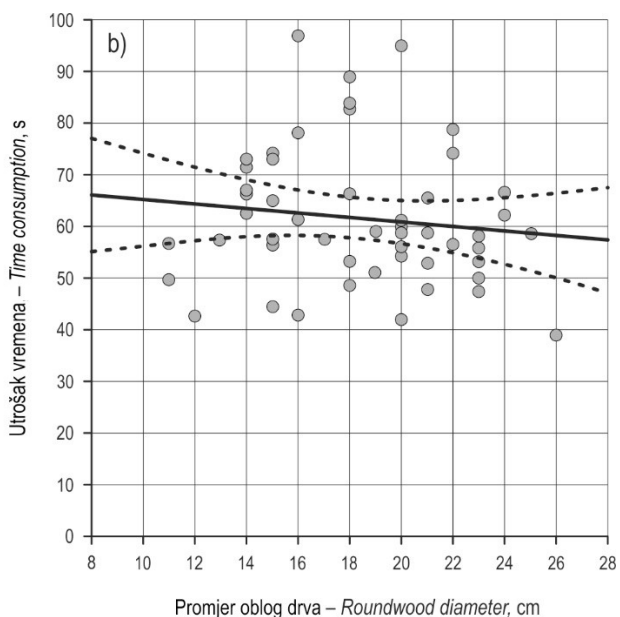
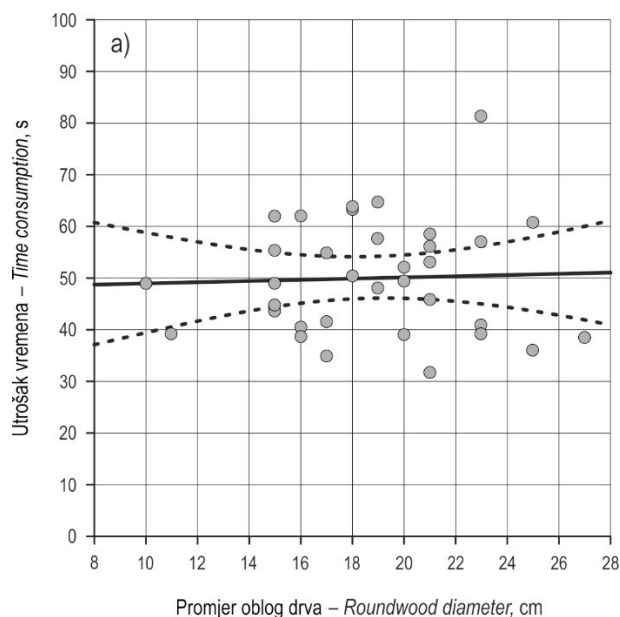
nesignifikantnoga člana jednadžbe (promjera obloga energijskoga drva) utjecaj se vrste drva za praktičnu primjenu u modelu za izračun proizvodnosti može prikazati jednadžbom (1), gdje je  $t_c$  utrošak vremena za cijepanje, a  $VD$  binomna varijabla odrednica vrste drva (0 – bukva √ 1 – grab).

$$t_c = 50,013 + 11,6704 \times VD \left[ \frac{s}{kom} \right] \quad (1)$$

( $r = 0,4224$ ;  $F(1,83) = 18,024$ ;  $p < 0,00006$ ; Std. err. est.: 12,416)

Model za izračun proizvodnosti (2) konstruiran je na temelju prosječnih vrijednosti utroška vremena za

*pomicanje* po utovarnoj rampi i *transport* ulaznim transporterom te regresijskih jednadžbi za izračun utroška vremena za *prepiljivanje* u ovisnosti o promjeru ( $d_s$ ) i vrsti ( $VD$ ) obloga energijskoga drva i izračun utroška vremena za *cijepanje* u ovisnosti o vrsti energijskoga drva ( $VD$ ). U model je uvršten i faktor dodatnoga vremena (koji je uključivao sve evidentirane prekide) u iznosu 1,36. Proizvedena količina kratko rezanoga i cijepanoga drva izračunata je Huberovom formulom na temelju duljine obloga energijskoga drva od 4,0 m (sukladno postavkama pokusa) i promjerima obloga energijskoga drva ( $d_s$ ) u rasponu uzorka (zanemarujući gubitke pri prepiljivanju). Proizvodnost je iskaza-



**Slika 5.** Odnos utroška vremena za *cijepanje* i promjera oblovine; a) obična bukva; b) obični grab

**Fig. 5** Time consumption for splitting vs. roundwood diameter; a) European beech; b) European hornbeam

$$P = \frac{3600}{1,36 \times (5,8 + 23,8 + 21,831 + 0,636 \times d_s - 9,652 \times VD + 50,013 + 11,6704 \times VD)} \times \frac{d_s^2 \times 3,14 \times 4}{40000} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \quad (2)$$

na u metrima kubnim po radnom satu (uključujući i prekide).

Modelom izračunata proizvodnost istraživanoga procesora Posch Spaltfix S-360 kreće se od 0,77 m<sup>3</sup>/h za duljinu komada obloga energijskoga drva obične bukve 4,0 m i promjer 10 cm do 4,76 m<sup>3</sup>/h za promjer obloga energijskoga drva obične bukve 26 cm. Pri izradi kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva običnoga graba proizvodnost je prosječno manja za 1,8 %, odnosno za iste, prethodno navedene dimenzije kreće se u rasponu od 0,76 m<sup>3</sup>/h do 4,68 m<sup>3</sup>/h.

### 3.2 Kakvoća izrađenoga kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva – *Quality of produced chopped firewood*

Tehnički maseni udio vode bukova kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva prosječno je iznosio 39,20 ± 3,26 %, a tehnički maseni udio vode grabova kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva prosječno je iznosio 33,81 ± 2,85 %.

Prosječna duljina bukova kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva iznosila je 25,25 ± 0,61 cm (najmanja izmjerena duljina iznosila je 22 cm, a najveća 27 cm). Slični su rezultati utvrđeni i mjerenjem duljina grabova kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva. Prosječna duljina iznosila je 25,30 ± 0,50 cm, najmanja duljina iznosila je 23,2 cm, a najveća 27,6 cm.

Prema izmjerenim promjerima 22 % komada bukova kratko rezanoga i cijepanoga drva pripada razredu D15 +, 75 % komada razredu D15, a 3 % komada ulazi u razred D10. Slična je distribucija razreda promjera utvrđena i mjerenjem komada grabova kratko rezanoga i cijepanoga drva; 23 % komada ubraja se u razred D15 +, 71,5 % komada u razred D15, a 5,5 % u razred D10.

Pet komada bukova kratko rezanoga i cijepanoga drva (2,5 %) imalo je tragove truleži. Tragovi su truleži utvrđeni na dvostruko većem broju komada grabova kratko rezanoga i cijepanoga drva.

Kod svih je uzorkovanih komada kratko rezanoga i cijepanoga drva površina presjeka bila jednolična i svi se komadi mogu definirati kao cjepanice.

## 4. Discussion – *Rasprava*

Uvažavajući rezultate prethodnih istraživanja izrade kratko rezanoga i cijepanoga drva procesorima (Cavalli i dr. 2014, Vusić i dr. 2015) postavke su pokusa

prilagođene uklanjanju utjecaja koji na utrošak vremena prepiljivanja i cijepanja (promatranoga kao jedinstveni radni zahvat) čini različita duljina višemetarskoga obloga energijskoga drva. Tako je istraživačka pozornost usmjerena primarno na utjecaj koji promjer višemetarskoga obloga energijskoga drva ima na utrošak vremena za *prepiljivanje*. Prethodnim je istraživanjima utvrđeno da utrošak vremena za cijepanje ovisi u prvom redu o brzini hidrauličnoga potisnika u komori za cijepanje, a ne o veličini sekcije koju treba iscijepati (Cavalli i dr. 2014). Stoga je izostanak statistički značajne ovisnosti utroška vremena za *cijepanje* o promjeru višemetarskoga obloga energijskoga drva, utvrđen ovim istraživanjem, očekivan. Posebice je značajan rezultat iskaz ovisnosti utroška vremena za *prepiljivanje* o promjeru višemetarskoga obloga energijskoga drva prikazan pripadajućom regresijskom jednadžbom. Navedeno omogućuje realniji izračun moguće proizvodnosti pomoću prikazanoga matematičkoga modela jer on, osim poznatoga pozitivnoga utjecaja promjera obloga energijskoga drva na proizvodnost procesora sukladno zakonu obujma komada (Speidel 1952), vrednuje i povećani utrošak vremena za *prepiljivanje* obloga drva većeg promjera. Utvrđene statistički značajne razlike pri utrošku vremena za *cijepanje* u ovisnosti o vrsti drva (11,67 sekundi manji utrošak vremena pri preradi komada obloga energijskoga drva obične bukve) mogu se objasniti prosječno 5,39 % manjim udjelom vode grabova kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva. Slično zaključuju i Cavalli i dr. (2014) navodeći da je preradom svježega energijskoga drva moguće smanjiti ukupni utrošak energije potreban za izradu. Rezultati statistički značajno različita utroška vremena za *prepiljivanje* u ovisnosti o vrsti drva (9,65 sekundi manji utrošak vremena pri preradi komada obloga energijskoga drva običnoga graba) gotovo izjednačuju ukupni utrošak vremena izrade pa su i razlike u proizvodnosti s obzirom na vrstu drva minimalne. Za donošenje čvrstih zaključaka o utjecaju vrste drva na utrošak vremena za *prepiljivanje* i *cijepanje* bilo bi nužno ujednačiti sirovinu s obzirom na udio vode i ostala fizikalna svojstva, što je u realnim proizvodnim uvjetima prilično teško postići. Stoga bi buduća istraživanja bilo uputnije usmjeriti sirovini iste vrste drva (i sličnih svojstava drva – ponajprije zakrivljenosti, usukanosti i pojavnosti kvrga), a što veće varijabilnosti udjela vode.

S obzirom na navedene rezultate kakvoće kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva, a radi po-

stizanja ujednačenih razreda kakvoće sukladno HRN EN ISO 17225-5, nužno je proizvedeno ogrjevno drvo prilikom slaganja u palete razvrstati u jednolične razrede dimenzija (85 % količine mora pripadati jednomu razredu promjera, a odstupanje duljine smije biti  $\pm 2$  cm uz 15 % količine u duljinama kraćim od graničnih) te ovisno o željenom razredu ukloniti komade s tragovima truleži. U slučaju većih narudžbi ujednačene dimenzije promjera, a s obzirom na ograničenu zalihu sirovine, pojedine je komade moguće dodatno iscijepati prije slaganja (uz dodatni trošak vremena i povećanje jediničnoga troška izrade). S obzirom na navedeno na kraju linije procesora, a prije slaganja u palete instalirana su dva vertikalna hidraulična cjepača.

## 5. Zaključci – Conclusions

Istraživanjem je utvrđeno da promjer obloga energijskoga drva pozitivno utječe na proizvodnost istraživanoga procesora Posch Spaltfix S-360 sukladno zakonu obujma komada. Osim pozitivnoga utjecaja na proizvodnost utvrđen je i statistički značajan utjecaj promjera višemetarskoga obloga energijskoga drva na povećanje utroška vremena radnoga zahvata *prepiljivanje*.

Detaljnomo analizom utroška vremena radnih zahvata utvrđeno je da ne postoji statistički značajna razlika pri utrošku vremena za *pomicanje* po utovarnoj rampi i *transport* ulaznim transporterom s obzirom na vrstu drva. Značajne razlike nisu utvrđene ni u postotnim iznosima vremena prekida, odnosno povremenih radova.

Utvrđene su statistički značajne razlike pri utrošku vremena za *prerezivanje* (9,65 sekundi manji utrošak vremena pri preradi komada višemetarskoga obloga energijskoga drva običnoga graba) i pri utrošku vremena za *cijepanje* (11,67 sekundi manji utrošak vremena pri preradi komada višemetarskoga obloga energijskoga drva obične bukve).

Prosječno je kratko rezano i cijepano ogrjevno drvo običnoga graba sadržavalo 5,39 % manje vode (33,81 %) nego drvo obične bukve (39,20 %).

Razlike u utrošku vremena cijepanja moguće je, osim razlikom u ostalim fizikalnim svojstvima drva, tumačiti i različitim udjelom vode istraživanih vrsta obloga energijskoga drva. Rezultati upućuju na nužnost još detaljnijega ograničenja utjecajnih čimbenika prilikom planiranja pokusa.

S obzirom na rezultate kakvoće kratko rezanoga i cijepanoga drva, a radi postizanja ujednačenih razreda kakvoće sukladno HRN EN ISO 17225-5, nužno je proizvedeno ogrjevno drvo prilikom slaganja u palete

razvrstati u jednolične razrede dimenzija ili obaviti dodatno cijepanje. Ujednačenje dimenzija može se postići i sortiranjem ulazne sirovine. Značajno povećanje kakvoće, a time i cijene istraživanoga ogrjevnoga drva moguće je postići optimiziranjem prirodnoga prosušivanja sirovine ili proizvoda radi dostizanja 25 % i manje udjela vode. No, i sortiranje ulazne sirovine i prirodno prosušivanje zahtijevaju jednoličnu i stalnu dobavu dostatne količine sirovine.

## 6. Literatura – References

- Bojanin, S., A. P. B. Krpan, J. Beber, 1990: Utrošak goriva i maziva motorne lančane pile Stihl 056, kod obaranja stabala, izrade sortimenata tehničke oblovine i jednometarskog prostorna drva u zrelih sastojinama hrasta lužnjaka. Šumarski list, 114(6–8): 261–271.
- Cavalli, R., S. Grigolato, A. Sgarbossa, 2014: Productivity and quality performance of an innovative firewood processor. Journal of Agricultural Engineering, 45(1): 32–36.
- HRN EN ISO 17225-5:2014 Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 5: Graded firewood. Hrvatski zavod za norme, Zagreb, 1–15.
- HRN EN ISO 18134-2:2015 Solid biofuels – Determination of moisture content – Oven dry method – Part 2: Total moisture – Simplified method. Hrvatski zavod za norme, Zagreb, 1–9.
- Kärh , K., A. Jouh aho, 2009: Producing chopped firewood with firewood processors. Biomass and bioenergy, 33(9): 1300–1309.
- JUS D.B5.023:1979 Drvo za ogrev i suhu destilaciju. Savezni zavod za standardizaciju, Beograd, 1–2.
- Lindroos, O., 2008: The effects of increased mechanization on time consumption in small-scale firewood processing. Silva Fennica, 42(5): 791–805.
- Manzone, M., R. Spinelli, 2014: Efficiency of small-scale firewood processing operations in Southern Europe. Fuel Processing Technology, 122: 58–63.
- Speidel, G., 1952: Das St ckmassesgesetz und seine Bedeutung f r den internationalen Leistungsvergleich bei der Forstarbeit. Dissertation. Universit t Hamburg, 1–66.
- Terzin, V., Đ. Vinković, 1983: Izrada kratko rezanog ogrjevnog drva i isporuka kupcima u kontejnerima. Šumarski list, 107(11–12): 525–535.
- Tomanić, S., 1974: Racionalizacija rada pri sje i, izradi i privlačenju drva. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–468.
- Tomi i , B., 1975: Traženje povoljnijih načina manipulacije prostornim drvetom. Šumarski list, 99(11–12): 408–420.
- Tomi i , B., 1983: Utjecaj tehnologije i organizacije na proizvodnost i mehaniziranost radova u iskori i avanju šuma. Zbornik radova Savjetovanja Mehanizacija šumarstva u teoriji i praksi, S. Sever (ur.). Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Opatija, 81–90.
- Tomi i , B., 1984: Proizvodnja sitnog industrijskog drva za mehaničku i kemijsku preradu. Mehanizacija  umarstva, 9(7–8): 147–157.

Vusić, D., A. Đuka, 2015: Značajnost šumske biomase kao obnovljivog izvora energije – utjecaj na sustave pridobivanja drva u Hrvatskoj. Zbornik savjetovanja CROJFE 2015. – Sadašnje stanje i budući izazovi. Zagreb – Zalesina, 18. – 20. ožujka.

Vusić, D., Ž. Zečić, M. Smetko, 2015: Učinkovitost mehanizirane izrade kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva. Nova mehanizacija šumarstva, 36(1): 53–62.

---

## Abstract

---

### *Analysis of Factors Affecting Mechanized Production of Chopped Firewood*

*The aim of the research was to explore in detail the impact of selected features of the raw material (diameter of energy roundwood and wood species/water content) on the efficiency of individual work elements; especially cross-cutting and splitting, which are, based on the results of previous research, expected to have a correlation with these raw material features.*

*In order to determine the efficiency of Posch Spaltfix S-360 firewood processor in mechanized production of chopped firewood, a method of continuous chronometry was applied. Time consumption was determined and analyzed providing work elements of effective time and delays. Multiple regression analysis was used to investigate the dependence of time consumption of individual work elements on the round fuelwood diameter and wood species/moisture content. A model for the calculation of firewood processor productivity was developed based on the significant influence parameters.*

*The study found that the diameter of the energy roundwood has a positive effect on productivity of the investigated processor Posch Spaltfix S-360 in accordance with the »piece-size law«. In addition to the positive impact on productivity, a statistically significant effect of energy roundwood diameter on the increase of time consumption for work element cross-cutting was determined.*

*The opportunity for a substantial increase in quality, and thus the price of fuel wood, lies in optimizing the natural drying of raw material in order to achieve 25% or less of water content. However, both the natural drying and sorting of input raw material for the purpose of uniforming the final product dimensions require uniform and constant supply of sufficient raw materials.*

*The research results should be used to optimize the production system whose backbone is the investigated processor, but also to point out the general principle of the impact of selected features of raw material to the expected productivity of chopped firewood production by firewood processors.*

*Keywords: diameter, cross-cutting, splitting, European beech, European hornbeam, product quality*

---

#### Adresa autorâ – Authors' address:

Dino Friščić, mag. ing. silv.  
e-pošta: dino.frisic1991@gmail.com  
Varaždinska 2, Dubrava Križovljanska  
42208 Cestica  
HRVATSKA

Prof. dr. sc. Tomislav Poršinsky  
e-pošta: porsinsky@sumfak.hr  
Izv. prof. dr. sc. Željko Zečić  
e-pošta: zecic@sumfak.hr  
Dr. sc. Dinko Vusić \*  
e-pošta: vusic@sumfak.hr  
Zavod za šumarske tehnike i tehnologije  
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
Svetošimunska 25  
10 000 Zagreb  
HRVATSKA

\* Glavni autor – Corresponding author

Primljeno (Received): 30. 09. 2016.  
Prihvaćeno (Accepted): 18. 10. 2016.



# Raspodjela mase tovara i osovinskoga opterećenja šumskih kamionskih skupova pri prijevozu jelova celuloznoga drva

Marijan Šušnjar, Zdravko Pandur, Marin Bačić, Marko Zorić

## Nacrtak – Abstract

Pri prijevozu prostornoga drva za preradu (celuloznoga drva) poznavanje ukupne mase tovara vrlo je važno jer se prodaja toga proizvoda obavlja na osnovi mase. Osnovni je cilj istraživanja utvrđivanje raspodjela mase tovara jelova celuloznoga drva koja se može prevesti na različitim tipovima šumskih kamionskih skupova te usporedba s dopuštenim ograničenjima osovinskoga opterećenja i ukupne mase natovarenoga kamionskoga skupa. Istraživanja su obuhvatila šumske kamionske skupove IVECO Trakker 500, proizveden 2012. godine, i MAN TGS 33.440, proizveden 2014. godine. Oba su kamionska skupa opremljena istom hidrauličnom dizalicom Epsilon Palfinger M110Z i prikolicom PSM 200.

Tijekom istraživanja osovinsko je opterećenje mjereno pomoću prijenosnoga mjernoga sustava od četiriju mjernih platformi DINI ARGEO WWSC. Točnost je mjerenja mjernoga sustava 1 kg. Za potrebe istraživanja prijenosni je sustav vaga umjeren pomoću certificiranoga etalona za umjeravanje vaga.

Osovinsko je opterećenje praznoga kamionskoga skupa IVECO mjereno šest puta, a kamionskoga skupa MAN osam puta tijekom istraživanja. Kamionski skup MAN u prosjeku ima manju masu za 570 kg. Kod oba neopterećena kamionska skupa najveće osovinsko opterećenje nalazi se na drugoj osovini kamiona. Usporedbom sa zakonskim ograničenjima utvrđeno je da korisna nosivost kamionskoga skupa MAN iznosi 21 341 kg, a kamionskoga skupa IVECO 20 771 kg.

Ukupno su obavljena 24 mjerenja osovinskoga opterećenja natovarenih kamionskih skupova s različitim tovarima jelova celuloznoga drva – 11 puta na kamionskom skupu IVECO i 13 puta na kamionskom skupu MAN. Raspodjela ukupnoga osovinskoga opterećenja u oba je kamionska skupa približno jednaka. Na kamion otpada 60 % ukupnoga opterećenja, a na prikolicu 40 %. Neznatno se odstupanje 1–2 % nalazi između pojedinoga osovinskoga opterećenja na istraživanim kamionskim skupovima.

Masa je tovara izračunata iz razlike osovinskoga opterećenja natovarenih šumskih kamionskih skupova i prosječnih vrijednosti osovinskoga opterećenja nenatovarenih kamionskih skupova. Najmanje vrijednosti mase tovara koje se raspodjeljuju na prednju osovinu kamiona u prosječnim relativnim odnosima iznose 21 % mase tovara kod kamionskoga skupa IVECO, odnosno 17 % kod kamionskoga skupa MAN.

Na osnovi podataka ustanovljene su razlike u načinu slaganja drvnih sortimenata u tovarni prostor, ali one nisu utjecale na pojavu pretovara. Na pojavu pretovara, odnosno na prekoračenje dopuštene ukupne mase šumskih kamionskih skupova pri prijevozu drva na javnim cestama utječe ponajprije ukupna masa tovara.

Rezultatima se istraživanja ukazuje na smjernice razvoja šumskih kamionskih skupova te izvode određeni zaključci u svezi s primjenom šumskih kamionskih skupova pri prijevozu drva.

**Ključne riječi:** šumski kamionski skup, masa tovara, osovinsko opterećenje, zakonska ograničenja, jelovo celulozno drvo

## 1. Uvod – Introduction

Daljinski ili sekundarni prijevoz drva pomicanje je dijelova ili cijelih stabala od pomoćnoga stovarišta do glavnoga stovarišta – kupca (Krpan 1991). U hrvatskom šumarstvu prijevoz se drva uglavnom obavlja šumskim kamionskim skupovima, tj. kamionima s prikolicom opremljenim hidrauličnim dizalicama (Tomašić 2012). Zorić i dr. (2014) daju podatak da udio prijevoza drva šumskim kamionskim skupovima premašuje 85 % u ukupnom daljinskom prijevozu drva. Bumber (2011) navodi da se osim kopnenih prijevoznih sustava, u hrvatskom šumarstvu, manje količine drva (10 000 – 15 000 m<sup>3</sup> godišnje) mekih listača iz poplavnih šuma i šumskih kultura dopremaju vodenim putovima. Također se manje količine drva prevoze željeznicom.

Pri daljinskom prijevozu drva šumski kamionski skupovi prometuju po javnim i šumskim cestama. Malnar (2000) navodi da tijekom radnoga dana kamionskih skupova na šumskim prometnicama, ovisno o vrsti tereta koji prevoze, provode 11,61 % odnosno 18,64 % radnoga vremena. Holzleitner (2009) i Holzleitner i dr. (2011) navode da kamionski skupovi na šumskim cestama provode 14,2 % radnoga vremena. Preostalo radno vrijeme kamionski skupovi provode na javnim cestama čime podliježu zakonskim ograničenjima koja su propisana za promet po javnim cestama (Pravilnik o tehničkim uvjetima vozila za promet u prometu na cestama, NN 51/10, NN 84/10, 145/11, 140/13, 85/14).

Glavni problem koji se pojavljuje jest dopušteno ograničenje osovinskoga opterećenja i ukupna masa natovarenoga kamionskoga skupa. Kako se količina drva koja se prevozi kamionskim skupovima u hrvatskom šumarstvu izražava u kubnim metrima, a drvo zbog svojih značajki ima veliku varijabilnost vlage, točnu masu drva u tovarnom prostoru kamionskoga skupa nemoguće je procijeniti. Zbog nemogućnosti sigurne procjene mase tovara često je opterećenje osovine veće od dopuštenoga pa se plaća prometni prekršaj, ili se nedovoljno iskorištava kamionski skup kao radni stroj.

Pri prijevozu prostornoga drva za preradu (celuloznoga drva) poznavanje ukupne mase tovara vrlo je bitno jer se prodaja toga proizvoda obavlja na osnovi mase. Prema podacima iz »Godišnjega izvješća 2015. godine Hrvatskih šuma d.o.o. Zagreb« ukupno je proizvedeno i prodano 530 281 m<sup>3</sup> prostornoga drva za preradu, što je 11 % ukupne količine drvnih sortimenta. Od toga na celulozno drvo četinjača otpada 237 706 m<sup>3</sup>, odnosno 5 % ukupne količine drvnih sortimenta. Pri tome je potrebno naglasiti da se navedene količine odnose samo na prostorno drvo proizvedeno

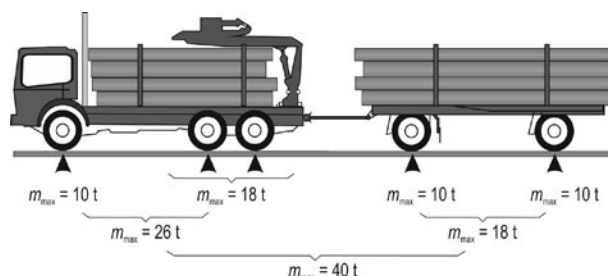
iz državnih šuma kojima gospodare »Hrvatske šume« d.o.o. Zagreb, bez količine prostornoga drva proizvedenoga iz privatnih šuma. Ukupne količine celuloznoga drva četinjača prevoze se uglavnom do kupaca šumskim kamionskim skupovima. Stoga je osnovni cilj istraživanja određivanje raspodjele mase tovara jelova celuloznoga drva koja se može prevesti na različitim tipovima šumskih kamionskih skupova te usporedba s dopuštenim ograničenjima osovinskoga opterećenja i ukupne mase natovarenoga kamionskoga skupa.

## 2. Problematika – Scope of research

Pravilnik o tehničkim uvjetima vozila u prometu na cestama (NN 51/10, NN 84/10, 145/11, 140/13, 85/14) propisuje snagu motora, najveće dopuštene dimenzije i masu vozila ili skupa vozila te najveće dopušteno opterećenje pojedinih osovina vozila prilikom prometa na javnim cestama.

Prema Pravilniku kamioni koji služe za prijevoz drva nalaze se unutar skupine N3 – motorna vozila za prijevoz tereta najveće dopuštene mase >12 000 kg. Također prikolice i poluprikolice koje služe za prijevoz drva nalaze se u skupini O4 – priključna vozila kojima je najveća dopuštena masa >10 000 kg.

Temeljem te raščlambe može se zaključiti da kamion u kamionskom skupu smije biti opterećen najviše 26 t, a prikolica 18 t, ali da ukupna masa sustava ne smije prelaziti 40 t. Ujedno pojedinačno opterećenje samostalne osovine ne smije prelaziti 10 t, a dvostruke osovine ukupno 18 t. Na slici 1 prikazana je najveća dopuštena masa najčešće korištenih tipova kamionskih skupova u Hrvatskoj. Ukupna duljina kamiona s prikolicom ili poluprikolicom ne smije biti veća od 18,75 m. Ako je prazni kamionski skup kraći od granične duljine, zakonom je dopušten prepust do 15 % međuosovinskoga razmaka prikolice. Širina teretnih vozila ne smije biti veća od 2,55 m, a visina ne smije biti veća od 4,00 m.



**Slika 1.** Najveća dopuštena masa šumskih kamionskih skupova  
**Fig. 1** Maximum permissible mass of truck units

Najveća dopuštena masa, prikazana na slici 1, pokazuje određenu nelogičnost nastalu zbog ograničavanja ukupne mase i osovinskoga opterećenja. Primjerice, prema dopuštenomu osovinskomu opterećenju kamion bi mogao imati ukupnu masu 28 tona, ali je ona ograničena na dopuštenih 26 t. Isto vrijedi i za prikolicu gdje je dopuštena masa 18 t, a zbroj osovinskoga opterećenja 20 t. Zbroj pojedinačne dopuštene mase kamiona i prikolice iznosi 44 t, ali je dopuštena masa šumskoga kamionskoga skupa 40 t.

Istraživanja tehničkih svojstava šumskoga kamionskoga skupa s obzirom na zakonska propisana ograničenja u europskom okruženju provodili su Lumsden (2004), Klvač i dr. (2009) te Carette i Ginet (2014). Problematikom tehničkih svojstava kamionskoga skupa u hrvatskom šumarstvu bavio se Malnar (2000). On je istraživao dimenzijska i masena obilježja šest različitih tipova kamionskih skupova te je zaključio da nema značajnih razlika u dimenzijama s obzirom na tip i proizvođača kamionskoga skupa i na vrstu nadogradnje. Isti autor navodi da su zakonskim propisima određena najveća dopuštena masa kamionskoga skupa, najveća dopuštena masa kamiona i najveća dopuštena masa prikolice najvažniji čimbenici koji ograničavaju veličinu tovara. Neposredno nakon njih dopuštena je nosivost stražnje dvostruke osovine, a tek tada nosivost prednje osovine. Ispitujući tehnička svojstva kamionskoga skupa Scania, Horvat i Šušnjar (2002) zaključuju slično kao i Malnar (2000). Šušnjar i dr. (2011a) istražuju masena svojstva dvaju tipova kamionskoga skupa te zaključuju da su s tovarom od 22,61 m<sup>3</sup> oba kamionska skupa prekoračila dopuštenu masu, ali je bitno napomenuti da opterećenje ni jedne osovine nije prekoračilo dopuštene vrijednosti. Šušnjar i dr. (2011b) istražuju dodirni tlak između kotača kamiona i šumske ceste te zaključuju da je najveći dodirni tlak ispod kotača prednje osovine kamiona, neovisno o tipu kamionskoga skupa, te preporučuju da se u zakonskim propisima, koji reguliraju dopušteno osovinsko opterećenje, umjesto dopuštene mase koristi dodirni tlak kao mjera opterećenja.

Daljnji slijed razvoja šumskih kamionskih skupova odnosi se na smanjenje početne mase te time povećanje korisne nosivosti šumskih kamionskih skupova. Tomašić i dr. (2005) donose sljedeće preporuke za smanjenje početne mase kamionskoga skupa: upotreba bolje i lakše vrste materijala, ugradnja lakše dizalice poboljšanih tehničkih svojstava, izbor kamionskoga skupa s lakšim i drugačije riješenim sklopovima (motor, mjenjač, kabina i sl.), uvođenje kombinirane tehnologije prijevoza kamionskih skupova s dizalicom i bez dizalice (povećanje korisne nosivosti za iznos mase dizalice te sustava hlađenja dizalice). Zorić i dr.

(2014) predlažu upotrebu montažno-demontažnih dizalica koje bi se nalazile na pomoćnim stovarištima, čime bi se smanjila autonomnost kamionskoga skupa, ali bi se pridonijelo značajnomu smanjenju početne mase kamionskoga skupa, odnosno njegovoj boljoj masenoj i volumnoj iskorištenosti.

Zorić (2012) također razmatra smanjenje početne mase kamionskoga skupa upotrebom lakšega materijala pri opremanju kamiona sa šumarskom nadogradnjom te navodi primjere opremanja kamiona aluminijским spremnikom za gorivo, aluminijским spremnicima za zrak, aluminijским naplaticima na kotačima (slika 2). Negativne strane opremanja kamionskoga skupa s aluminijским naplaticima očituju se pri kretanju na šumskim cestama na kojima se u slučaju nepovoljnoga stanja planuma šumskih cesta oštećuju naplatci (savijanje, pucanje).

Anon. (2012) proveo je istraživanje uspoređujući konvencionalni kamionski skup s novim »Star Truck« kamionskim sustavom manje početne mase. Novi kamionski skup bio je opremljen aluminijским naplaticima, spremnikom goriva manjega obujma (ali dovoljne količine goriva za jedan turnus), središnjim sustavom za kontrolu tlaka u gumama, sustavom za mjerenje



**Slika 2.** Aluminijški naplatci na kotačima kamiona (a) i aluminijški spremnik za gorivo (b)

**Fig. 2** Aluminum rims on truck wheels (a) and aluminum fuel reservoir (b)



mase tovara kako bi se optimalno iskoristio tovarni prostor. Sve je to omogućilo prijevoz veće količine korisnoga tereta za 9,8 % uz povećanje potrošnje goriva za samo 1 % te smanjenje trošenja guma zbog primjene središnjega sustava za kontrolu tlaka u gumama.

### 3. Materijal i metode istraživanja *Material and methods of research*

#### 3.1 Šumski kamionski skupovi – *Truck units*

Prilikom istraživanja korišteni su šumski kamionski skupovi IVECO Trakker 500, proizveden 2012. godine (slika 3), i MAN TGS 33.440, proizveden 2014. godine (slika 4).

Kamion IVECO Trakker 500 pokreće 6-cilindarski dizelski motor Cursor 13, obujma 12,88 L, snage motora 368kW (500 KS) pri 1900 min<sup>-1</sup>, zakretnoga momenta 2300 Nm (1000–1525 min<sup>-1</sup>), koji zadovoljava normu za ispušne plinove Euro 5. Kamion MAN TGS 33.440 pokreće 6-cilindarski Common-Rail dizelski



**Slika 3.** IVECO Trakker 500

**Fig. 3** IVECO Trakker 500



**Slika 4.** MAN TGS 33.440

**Fig. 4** MAN TGS 33.440

**Tablica 1.** Tehnička svojstva hidraulične dizalice EP M110Z

**Table 1** Technical characteristics of hydraulic crane EP M110Z

Podizni moment, kNm – <i>Lifting momentum, kNm</i>	97
Okretni moment, kNm – <i>Torque, kNm</i>	27
Kut okretanja, ° – <i>Angle of rotation, °</i>	425
Doseg, m – <i>Reach, m</i>	9,6
Radni tlak, bar – <i>Working pressure, bar</i>	245
Količina protoka, L/min – <i>Flow rate, L/min</i>	2 × 70
Masa, kg – <i>Mass, kg</i>	2230

motor D26, obujma 12,4 L, snage motora 324kW (440 KS) pri 1800 min<sup>-1</sup>, zakretnoga momenta 2100 Nm (900–1400 min<sup>-1</sup>), koji zadovoljava normu za ispušne plinove Euro 6. Oba kamiona imaju stalan pogon na stražnje kotače (6 × 4), blokadu stražnjega diferencijala, centralnu blokadu, 16-stupanjski ručni mjenjač, ABS, EBS sustav za ravnomjernu raspodjelu sile kočenja, hidrodinamički retarder te gume jednakih dimenzija na svim kotačima (315/80R22.5). Također su oba kamionska skupa opremljena istom hidrauličnom dizalicom Epsilon Palfinger M110Z (tablica 1) i prikolicama PSM 200 proizvođača PK d.o.o (slika 5).

#### 3.2 Mjerenja osovinskoga opterećenja – *Axle load measurements*

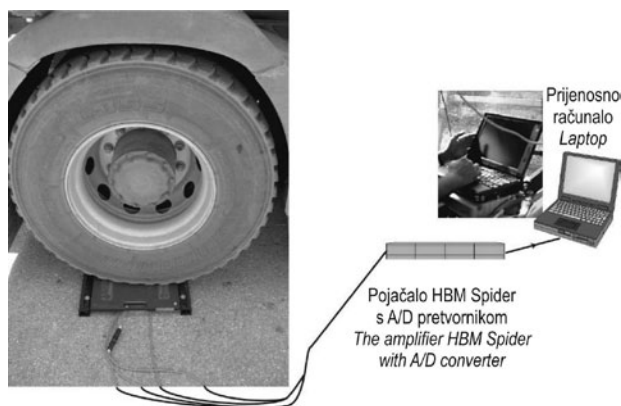
Tijekom istraživanja osovinsko je opterećenje mjereno pomoću prijenosnoga mjernoga sustava (slika 6)



**Slika 5.** Prikolica PSM 200

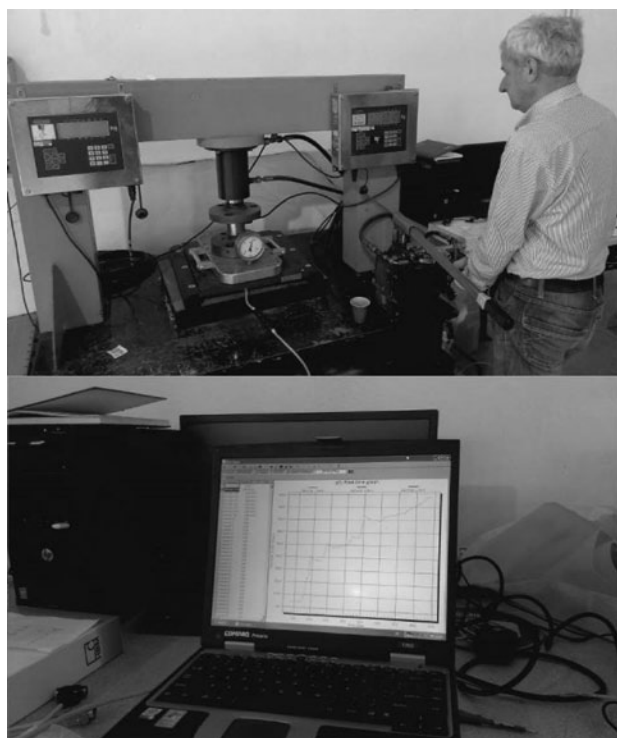
**Fig. 5** Trailer PSM 200





**Slika 6.** Mjerni sustav  
**Fig. 6** Measuring system

Laboratorija za tehničko-tehnološka mjerenja u šumarstvu. Prijenosni se sustav sastoji od četiriju mjernih platformi DINI ARGEO WWSC. Maksimalno je opterećenje pojedine vage u sustavu 10 t. Svaka je vaga opremljena sa šest mjernih doza tipa SBX-1KL pojedinačnoga maksimalnoga opterećenja do 2,5 tona. Mjerne su doze paralelno spojene u sabirnu kutiju koja se nalazi na svakoj pojedinoj vagi. Za potrebe ovoga istraživanja prijenosni je mjerni sustav doraden tako



**Slika 7.** Umjeravanje mjernoga sustava  
**Fig. 7** Calibration of measuring system

da je kompatibilan s mjernim pojačalom SPIDER proizvođača Hottinger Baldwin Messtechnik GMBH te povezan s prijenosnim osobnim računalom čini jedinstveni sustav za prikupljanje podataka (slika 6).

Točnost je mjerenja mjernoga sustava 1 kg. Prednost je prerađenoga mjernoga sustava u usporedbi sa serijskim, osim veće točnosti mjerenja i veće količine prikupljenih podataka (frekvencija je snimanja 50 Hz), mogućnost da se u isto vrijeme može pratiti mjerenje svake vage pojedinačno, zatim grafički prikaz mjerenja, jednostavniji način prikupljanja podataka, jer se prilikom mjerenja koristi specijalizirani program Catman, koji omogućuje daljnju obradu podataka statističkim alatima. Za potrebe istraživanja prijenosni je sustav vaga umjeren pomoću certificiranoga etalona za umjeravanje vaga (slika 7).

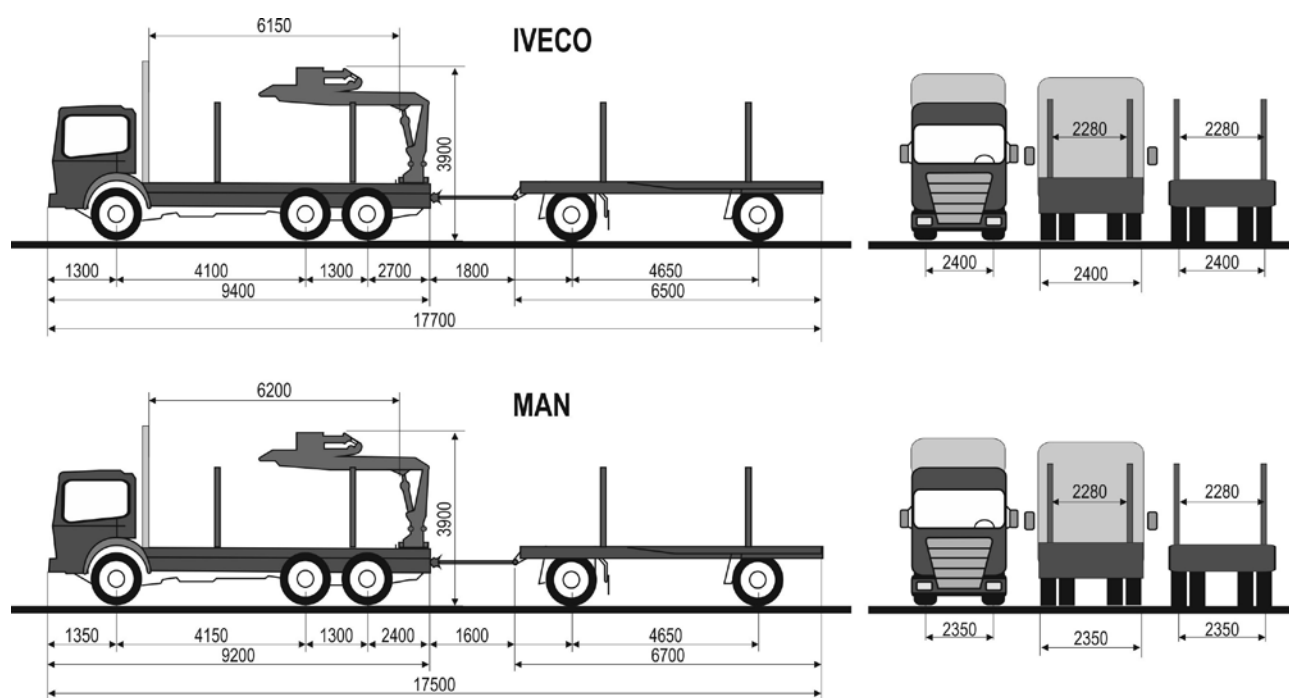
#### 4. Rezultati – Results

Na slici 8 prikazane su dimenzije istraživanih kamionskih skupova. Iz slike je vidljivo da po dimenzijama kamionski skupovi zadovoljavaju dimenzijama koje su zakonom dopuštene. Obujam je tovarnoga prostora kamionskoga skupa IVECO 50,48 m<sup>3</sup> (kamion 24,53 m<sup>3</sup>, prikolica 25,95 m<sup>3</sup>), a kamionskoga skupa MAN je 51,48 m<sup>3</sup> (kamion 24,74 m<sup>3</sup>, prikolica 26,74 m<sup>3</sup>). Obujam tovarnoga prostora kod oba kamionska skupa računat je na temelju samih dimenzija tovarnoga prostora, odnosno u izračunu nije korišten 1 m prepusta na prikolici koji je dopušten prema zakonskim propisima.

Osovinsko je opterećenje neopterećenoga kamionskoga skupa IVECO mjereno šest puta, a kamionskoga skupa MAN osam puta tijekom istraživanja. Podaci o vaganju neopterećenih kamionskih skupova prikazani su u tablici 2. Razlike u masi neopterećenih kamionskih skupova pojedinoga tipa nastale su zbog različite količine pogonskoga goriva u spremniku kamionskoga skupa te zbog otpada koji ostaje u tovarnom prostoru nakon istovara sortimenata. U daljnjem su istraživanju uzete prosječne vrijednosti mase i osovinskoga opterećenja neopterećenih kamionskih skupova (slika 9).

Masa neopterećenoga kamionskoga skupa IVECO iznosi 19 229 kg, dok kamionski skup MAN u prosjeku ima manju masu za 570 kg (18 659 kg). Kod oba neopterećena kamionska skupa najveće osovinsko opterećenje nalazi se na drugoj osovini kamiona.

Osnova gradnje šumskoga kamiona za prijevoz drva počiva na šumarskoj nadogradnji velikoserijskih inačica kamiona. Pod šumarskom se nadogradnjom razumijeva produljenje šasije za postolje hidraulične



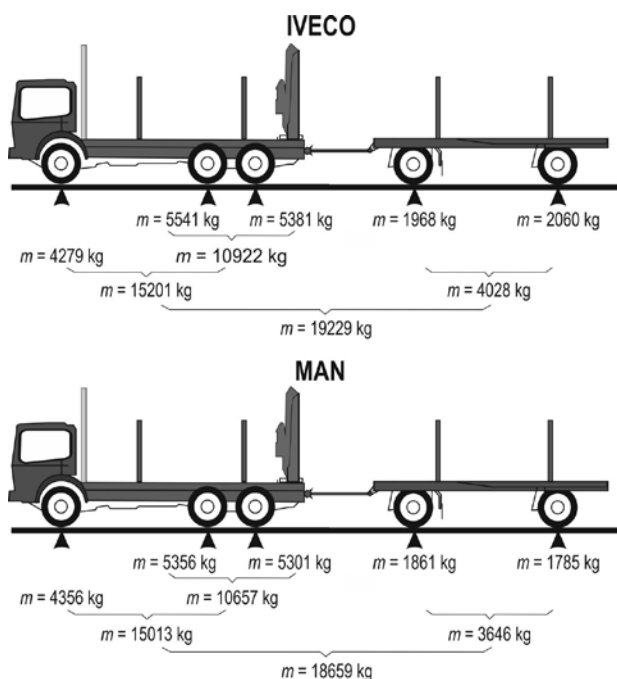
**Slika 8.** Dimenzije kamionskih skupova, mm

**Fig. 8** Dimensions of truck units, mm

**Tablica 2.** Masa neopterećenih kamionskih skupova, kg

**Table 2** Mass of unloaded trucks with trailers, kg

Kamionski skup Truck unit	Mjerenje Measurement	Kamion – Truck				Prikolica – Trailer			Ukupno Total
		1. osovina 1 <sup>st</sup> axle	2. osovina 2 <sup>nd</sup> axle	3. osovina 3 <sup>rd</sup> axle	Ukupno Total	1. osovina 1 <sup>st</sup> axle	2. osovina 2 <sup>nd</sup> axle	Ukupno Total	
IVECO	1	4117	5602	5388	15 107	1977	2021	3998	19 105
	2	4949	5187	4967	15 103	1952	2182	4134	19 237
	3	4182	5714	5475	15 371	2016	2033	4049	19 420
	4	4190	5615	5625	15 430	1960	2015	3975	19 405
	5	4052	5441	5399	14 892	1945	2132	4077	18 969
	6	4186	5686	5434	15 306	1959	1974	3933	19 239
	Prosjek – Average	<b>4279</b>	<b>5541</b>	<b>5381</b>	<b>15 201</b>	<b>1968</b>	<b>2060</b>	<b>4028</b>	<b>19 229</b>
MAN	1	4255	5374	5438	15 067	1683	1826	3509	18 576
	2	4268	5458	5267	14 993	1912	1775	3687	18 680
	3	4246	5485	5458	15 189	1849	1703	3552	18 741
	4	4281	5458	5389	15 128	1826	1771	3597	18 725
	5	4203	5382	5350	14 935	1896	1805	3701	18 636
	6	4185	5445	5360	14 990	1815	1760	3575	18 565
	7	5148	4927	4802	14 877	2076	1798	3874	18 751
	8	4264	5323	5345	14 932	1828	1842	3670	18 602
	Prosjek – Average	<b>4356</b>	<b>5356</b>	<b>5301</b>	<b>15 014</b>	<b>1861</b>	<b>1785</b>	<b>3646</b>	<b>18 659</b>



Slika 9. Masa neopterećenih kamionskih skupova

Fig. 9 Mass of unloaded truck units

dizalice, ugradnja hidraulične dizalice i hidrauličnih sastavnica, konstrukcija tovarnog prostora i zaštitne mreže kabine. Unatoč ugradnji iste hidraulične dizalice mase 2230 kg na stražnjem kraju kamiona ne dolazi do većeg opterećenja stražnje osovine. Pravilnim načinom ugradnje hidraulične dizalice njezina se masa raspoređuje na obje stražnje osovine kamiona, a veći osovinski razmak između prve i druge osovine kamiona uzrokuje najveće osovinsko opterećenje upravo na drugoj osovinu kamiona.

Nadalje je važno primijetiti, iako je dio obaju kamionskih skupova jednaka šumska prikolica, da je masa prikolice kod kamionskoga skupa IVECO veća za 382 kg. Objašnjenje leži u činjenici da je šumska prikolica u kamionskom skupu MAN novije proizvodnje te je konstruirana s novijim i lakšim materijalom, ali se nije promijenio naziv prikolice.

Usporedbom sa zakonskim ograničenjima vidljivo je da korisna nosivost kamionskoga skupa MAN iznosi 21 341 kg, a kamionskoga skupa IVECO 20 771 kg. Opterećenje praznoga kamionskoga skupa MAN manje je na svim osovinaama osim na prvoj osovinu šumskog kamiona.

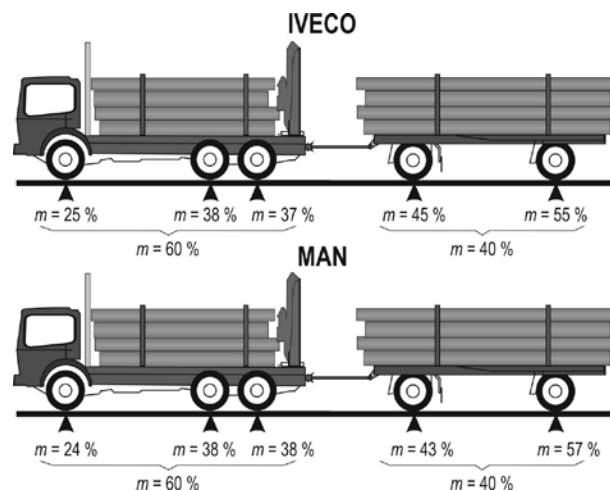
Ukupno je 24 puta mjereno osovinsko opterećenje natovarenih kamionskih skupova s različitim tovarima jelova celuloznoga drva – 11 puta na kamionskom skupu IVECO i 13 puta na kamionskom skupu MAN.

Masa tovara izračunata je iz razlike osovinskoga opterećenja natovarenih šumskih kamionskih skupova i prosječne vrijednosti osovinskoga opterećenja nenatovarenih kamionskih skupova. Masa tovara kretala se u rasponu od 17 t do 24,1 t kod kamionskoga skupa IVECO, odnosno od 16 t do 25,9 t kod kamionskoga skupa MAN (tablica 3).

Kamionski skup IVECO tri je puta bio u ukupnom pretovaru (masa >40 t) kod tovara mase veće od 23,2 t. Od toga u dva slučaja najvećega prekoračenja ukupne mase vozila javlja se i prekoračenje dopuštenoga osovinskoga opterećenja na obje stražnje osovine kamiona te na stražnjoj osovinu prikolice. Kod tovara od 19,63 t ne dolazi do prekoračenja ukupne mase kamionskoga skupa, iako se pojavljuje prekoračenje dopuštenoga osovinskoga opterećenja druge osovine kamiona. Jednak se slučaj pokazao i kod kamionskoga skupa MAN pri sličnom tovaru od 19,83 t.

Kamionski skup MAN s pet je najvećih tovara bio u ukupnom pretovaru (masa >40 t). Pri tovaru od 21,82 t dogodio se pretovar, iako nije prekoračeno ni jedno dopušteno osovinsko opterećenje. Pri tovaru od 22,557 t kamionski je skup u pretovaru isključivo zbog prevelike mase tovara na stražnjoj osovinu prikolice, što je rezultat nepravilnoga slaganja tovara u tovarni prostor prikolice. Kod tri najveća tovara uz pretovar prekoračeno je dopušteno osovinsko opterećenje obje stražnjih osovine kamiona.

Opterećenje stražnje osovine kamiona, kao i raspodjela mase tovara, ali i opterećenje po osovinaama značajno ovisi o načinu slaganja sortimenata u tovarni prostor kamiona, kao i o načinu slaganja dizalice prilikom prijevoza drvnih sortimenata.



Slika 10. Raspodjela opterećenja po osovinaama

Fig. 10 Distribution of axle loads

**Tablica 3.** Osovinsko opterećenje natovarenih kamionskih skupova, kg**Table 3** Axle load of loaded truck units, kg

Kamionski skup <i>Truck unit</i>	Masa tovara <i>Load mass</i>	Osovinsko opterećenje – <i>Axle load</i>					Ukupno <i>Total</i>
		Kamion – <i>Truck</i>			Prikolica – <i>Trailer</i>		
		1. osovina <i>1<sup>st</sup> axle</i>	2. osovina <i>2<sup>nd</sup> axle</i>	3. osovina <i>3<sup>rd</sup> axle</i>	1. osovina <i>1<sup>st</sup> axle</i>	2. osovina <i>2<sup>nd</sup> axle</i>	
IVECO	16 971	5440	8445	8150	6205	7960	36 200
	17 523	6531	8050	7777	6633	7761	36 752
	18 011	5740	8960	8615	7385	6540	37 240
	18 112	5686	8743	8397	7092	7423	37 341
	18 196	5850	8750	8470	6645	7710	37 425
	18 317	5332	8268	8090	6160	9696	37 546
	18 594	6894	8323	8002	6369	8235	37 823
	19 630	5641	9334	8970	7306	7608	38 909
	23 202	6481	9871	9647	7251	9181	42 431
	23 358	6285	9295	9089	7093	10 825	42 587
	24 133	6480	9525	9300	6820	11 237	43 362
Prosjek – <i>Average</i>	19 641	6033	8869	8592	6814	8561	38 874
MAN	15 981	5440	8245	8230	5335	7390	34 640
	16 592	5440	7804	7809	5824	8374	35 251
	18 201	5849	8390	8512	6066	8043	36 860
	18 460	5519	8459	8508	5950	8683	37 119
	19 830	5967	9545	8903	6770	7304	38 489
	19 887	5471	8355	8308	6802	9610	38 546
	20 558	5449	8576	8745	6813	9634	39 217
	21 196	5927	8972	8967	6710	9279	39 855
	21 823	5781	8935	8894	6985	9887	40 482
	22 557	5988	8858	8862	6797	10 711	41 216
	22 743	5826	9301	9395	7860	9020	41 402
	25 209	5961	9728	9959	8619	9601	43 868
	25 888	6496	9848	9959	9327	8917	44 547
Prosjek – <i>Average</i>	20 687	5778	8847	8850	6912	8958	39 346

\* kurzivom su označene vrijednosti osovinskoga opterećenja i ukupne mase, što prekoračuje zakonska ograničenja

\* values of axle loads and total weight that exceed the legislative limits are marked in italic

Za vrijeme Zorićevih (2015) istraživanja vozači kamionskih skupova u prijevozu su tehničke oblovinne hidrauličnu dizalicu postavljali u »ispruženi« položaj umjesto u pravilan prijevozni položaj. Prema podacima navedenih istraživanja postavljenjem dizalice u »ispruženi« položaj rasterećuje se stražnja osovina kamiona, te je u tom slučaju najviše opterećena druga osovina kamiona. Stoga je bitno naglasiti da je u ovom istraživanju hidraulična dizalica uvijek bila postavljena pravilno u prijevozni položaj.

Raspodjela ukupnoga osovinskoga opterećenja kod oba kamionska skupa približno je jednaka. Na kamion

otpada 60 % ukupnoga opterećenja, a na prikolicu 40 %. Neznatna odstupanja od 1 do 2 % nalaze se između pojedinoga osovinskoga opterećenja na istraživanim kamionskim skupovima.

Na temelju rezultata istraživanja vidljivo je da se kod prikolice uvijek veći dio mase prebacuje na stražnju osovinu. Razlog su tomu dimenzije sortimenata (dužina) te način slaganja sortimenata u tovarni prostor prikolice.

Nadalje je razmatrana raspodjela mase tovara po osovinama šumskih kamionskih skupova. Najmanje vrijednosti mase tovara raspodjeljuju se na prednju



**Tablica 4.** Raspodjela mase tovara po osovinama, kg

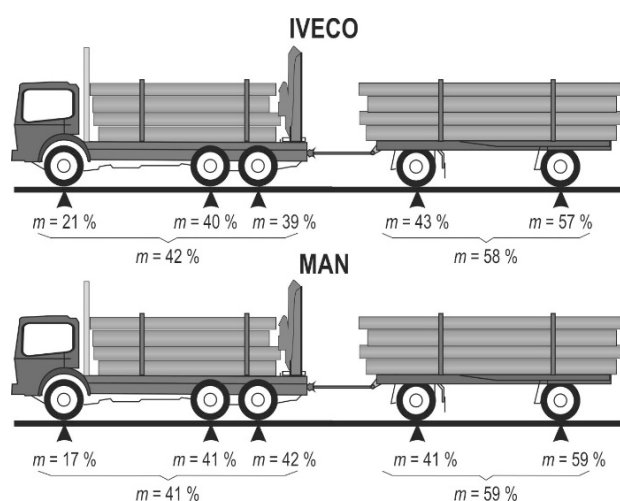
**Table 4** Distribution of load mass per axles, kg

Tip kamiona <i>Truck type</i>	Raspodjela tovara po osovinama <i>Distribution of load per axles</i>					Raspodjela tovara <i>Distribution of load</i>			Razlika između 2. i 3. osovine kamiona <i>Difference between 2<sup>nd</sup> – 3<sup>rd</sup> truck axles</i>	Postotak mase tovara na 1. osovini kamiona <i>Percentage of load mass on the 1<sup>st</sup> truck axle</i>
	Kamion – <i>Truck</i>			Prikolica – <i>Trailer</i>		Kamion <i>Truck</i>	Prikolica <i>Trailer</i>	Ukupno <i>Total</i>		
	1. osovina <i>1<sup>st</sup> axle</i>	2. osovina <i>2<sup>nd</sup> axle</i>	3. osovina <i>3<sup>rd</sup> axle</i>	1. osovina <i>1<sup>st</sup> axle</i>	2. osovina <i>2<sup>nd</sup> axle</i>					
IVECO	1161	2904	2769	4237	5900	6834	10 137	16 971	135	17
	2252	2509	2396	4665	5701	7157	10 366	17 523	113	31
	1461	3419	3234	5417	4480	8114	9897	18 011	185	18
	1407	3202	3016	5124	5363	7625	10 487	18 112	186	18
	1571	3209	3089	4677	5650	7869	10 327	18 196	120	20
	1053	2727	2709	4192	7636	6489	11 828	18 317	18	16
	2615	2782	2621	4401	6175	8018	10 576	18 594	161	33
	1362	3793	3589	5338	5548	8744	10 886	19 630	204	16
	2202	4330	4266	5283	7121	10 798	12 404	23 202	64	20
	2006	3754	3708	5125	8765	9468	13 890	23 358	46	21
	2201	3984	3919	4852	9177	10 104	14 029	24 133	65	22
Prosjek <i>Average</i>	<b>1754</b>	<b>3328</b>	<b>3211</b>	<b>4846</b>	<b>6501</b>	<b>8293</b>	<b>11 348</b>	<b>19 641</b>	<b>118</b>	<b>21</b>
MAN	1084	2889	2929	3474	5605	6902	9079	15 981	–40	16
	1084	2448	2508	3963	6589	6040	10 552	16 592	–60	18
	1493	3034	3211	4205	6258	7738	10 463	18 201	–177	19
	1163	3103	3207	4089	6898	7473	10 987	18 460	–104	16
	1611	4189	3602	4909	5519	9402	10 428	19 830	587	17
	1115	2999	3007	4941	7825	7121	12 766	19 887	–8	16
	1093	3220	3444	4952	7849	7757	12 801	20 558	–224	14
	1571	3616	3666	4849	7494	8853	12 343	21 196	–50	18
	1425	3579	3593	5124	8102	8597	13 226	21 823	–14	17
	1632	3502	3561	4936	8926	8695	13 862	22 557	–59	19
	1470	3945	4094	5999	7235	9509	13 234	22 743	–149	15
	1605	4372	4658	6758	7816	10 635	14 574	25 209	–286	15
2140	4492	4658	7466	7132	11 290	14 598	25 888	–166	19	
Prosjek <i>Average</i>	<b>1422</b>	<b>3491</b>	<b>3549</b>	<b>5051</b>	<b>7173</b>	<b>8462</b>	<b>12 224</b>	<b>20 687</b>	<b>–58</b>	<b>17</b>

osovinu kamiona te u prosječnim relativnim odnosima iznosi 21 % mase tovara kod kamionskoga skupa IVECO (raspon od 16 % do 33 %), odnosno 17 % kod kamionskoga skupa MAN (raspon od 14 % do 19 %). Veći se udio mase tovara nalazi na drugoj osovini kamiona kod kamionskoga skupa IVECO nego na stražnjoj osovini kamiona. Kod kamionskoga skupa MAN

rezultati pokazuju obrnuti slijed, odnosno veći se dio mase tovara prebacuje na stražnju osovinu kamiona.

Usporedbom raspodjele mase tovara na osovinama kamiona (tablica 4) vidljivo je da je kod kamionskoga skupa IVECO pri svim mjerenjima veći udio mase tovara na drugoj osovini kamiona (od 18 kg do 204 kg). Kod kamionskoga skupa MAN udio mase tovara na



**Slika 11.** Raspodjela mase tovara po osovinama

**Fig. 11** Distribution of load mass per axles

stražnjoj osovini veći je od 8 kg do 286 kg. Tek u jednom mjerenju udio je mase bio izrazito veći na drugoj osovini kamiona (587 kg). U tom se slučaju radilo o tovaru ukupne mase od 19,83 t pri čemu je prekoračeno dopušteno osovinsko opterećenje druge osovine kamiona. Također i kod kamionskoga skupa IVECO kod veće razlike raspodjele tovara između druge i stražnje osovine kamiona od 204 kg prekoračeno je dopušteno osovinsko opterećenje druge osovine kamiona pri ukupnoj masi tovara od 19,63 t. Postotna raspodjela mase tovara po osovinama prikazana je na slici 11.

Iz navedenih podatka može se zaključiti o utjecaju načina slaganja i rada vozača/operatora hidraulične dizalice pri utovaru na raspodjelu mase tovara. Pri utovaru kamionskoga skupa MAN drveni sortimenti jelova celuloznoga drva uglavnom su slagani prema stražnjemu kraju tovarnoga prostora kamiona.

Način slaganja drvnih sortimenta prema stražnjemu dijelu tovarnoga prostora kamiona u skladu je s raspodjelom opterećenja praznih kamionskih skupova gdje je ustanovljeno da je stražnja osovina kamiona uvijek manje opterećena od druge osovine kamiona.

No, ni razlike u načinu slaganja nisu utjecale na pojavu pretovara. Na pojavu pretovara odnosno na prekoračenje dopuštene ukupne mase šumskih kamionskih skupova pri prijevozu drva na javnim cestama utječe ukupna masa tovara.

## 5. Zaključci – Conclusions

Rezultatima se istraživanja ukazuje na smjernice razvoja šumskih kamionskih skupova te izvode određeni zaključci u svezi s primjenom šumskih ka-

mionskih skupova pri prijevozu drva. Istraživani šumski kamionski skup novije proizvodnje pokazuje prednosti tehničkih svojstava u odnosu na kamionski skup starije proizvodnje. Noviji kamionski skup MAN ima za 1 m<sup>3</sup> veći tovarni prostor te veću korisnu nosivost za 570 kg od dvije godine starijega kamionskoga skupa IVECO. Razlika je u korisnoj nosivosti također značajna kod šumske prikolice, gdje isti tip prikolice ima manju početnu masu kod novijega datuma proizvodnje. Iz navedenoga se može zaključiti da se uz konstrukciju i upotrebu novijega lakšega materijala za šumarsku nadogradnju i izradu šumske prikolice očekuje daljnje povećanje korisne nosivosti novih kamionskih skupova.

Način ugradnje hidraulične dizalice na šumskim kamionima i raspodjela mase dizalice po osovinama kamiona također je sljedeći razvojno-istraživački zadatak. Potrebno je razmotriti koliki se dio mase dizalice prebacuje na drugu osovину kamiona koja je kod praznoga kamiona uvijek najviše opterećena. Nakon toga se može istražiti način ugradnje hidraulične dizalice radi rasterećenja druge osovine neopterećenoga kamiona te time i smanjenjem mogućnosti prekoračenja osovinskoga opterećenja kod natovarenoga kamiona.

Jedna od mjera povećanja korisne nosivosti kamionskih skupova jest ograničeno punjenje spremnika goriva (Klvač i dr. 2013). Spremnik za gorivo kamionskih skupova nije potrebno puniti do maksimalnoga obujma (400 L), nego na osnovi praćenja dnevne potrošnje goriva i organizacije rada šumskoga kamionskoga skupa treba napuniti spremnik količinom goriva dovoljnom za obavljanje dnevnoga rada.

Raspodjela mase tovara na osovine kamionskoga skupa značajno ovisi o početnoj raspodjeli mase neopterećenoga kamionskoga skupa, vrsti drva te vrsti sortimenta (Zorić 2015). Način slaganja drvnih sortimenta u tovarni prostor i iskustvo radnika pri utovaru hidrauličnom dizalicom može također utjecati na raspodjelu mase tovara po osovinama i na veličinu (ili iznos) osovinskoga opterećenja.

U novije vrijeme šumski se kamionski skupovi opremaju sustavom za mjerenje osovinskoga opterećenja pomoću zračnoga ovjesa i EBS (Electronic Brake System) sustava. Mjerenje mase tovara pomoću zračnoga ovjesa radi na osnovi mjerenja promjene tlaka u zračnim jastucima i na osnovi izmjerenih vrijednosti prikazuje koliko je pojedina osovina kamiona opterećena. No, zračni ovjes može biti postavljen na sve osovine kamionskoga skupa (kamiona i prikolice) ili na sve osovine osim prve osovine kamiona.

Kada zračni ovjes nije postavljen na prvu osovину kamiona, ne može se izmjeriti ukupna masa tovara na kamionu jer se dio mase tovara raspodjeljuje na pred-

nju osovinu. U tom slučaju prikazani rezultati istraživanja mogu se koristiti za određivanje ukupne mase tovara pri prijevozu jelova celuloznoga drva.

## 6. Literatura – References

Anon., 2012: FP Inovation. Timber Transport Research – FERIC's Star Truck Project. Logging-on newsletter. Available on [http://www.loggingon.net/timber-transport-research-ferics-star-truck-project\\_news\\_op\\_view\\_id\\_43](http://www.loggingon.net/timber-transport-research-ferics-star-truck-project_news_op_view_id_43)

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.

Carrette, T., C. Ginet, 2014: Analysis of wood transport practices and infrastructures to anticipate regulatory constraints. FORMEC'14: Forest engineering: propelling the forest value chain September 23–26, 2011, Gerardmer – France.

Holzleitner, F., 2009: Analyzing road transport of roundwood with a commercial fleet manager. In: H. Prknová (ed.), Formec 2009. Kostelec nad Černými lesy: Czech University of Life Sciences Prague, 173–181.

Holzleitner, F., Ch. Kanzian, K. Stampfer, 2011: Analyzing time and fuel consumption in road transport of roundwood with an onboard fleet manager. Eur J Forest Res, 130(2): 293–301.

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

Klvač, R., S. Liška, R. Jiroušek, 2009: Road timber transport – Analysis of situation in Czech Republic. In: H. Prknová (ed.), Formec 2009. Kostelec nad Černými lesy: Czech University of Life Sciences Prague, 234–236.

Klvač, R., J. Kolarik, M. Volona, K. Drapela, 2013: Fuel Consumption in Timber Haulage. Croatian Journal of Forest Engineering, 34 (2): 229–240.

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

Lumsden, K., 2004: Truck Masses and Dimensions – Impact on transport efficiency. Masses and Dimensions SAG report.

Department of Logistics and Transportation, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.

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

Šušnjar, M., D. Horvat, Z. Pandur, M. Zorić, 2011a: Određivanje osovinskih opterećenja kamionskoga i šleperskoga skupa za prijevoz drva. Croatian Journal of Forest Engineering, 32(1): 379–388.

Šušnjar, M., D. Horvat, M. Zorić, Z. Pandur, D. Vusić, Ž. Tomašić, 2011b: Comparison of Real Axle Loads and Wheel Pressure of Truck Units for Wood Transportation with Legal Restrictions. FORMEC'11: Pushing the boundaries with research and innovation in forest engineering October 9–12, Graz and Rein – Austria, 1–11.

Tomašić, Ž., Ž. Sučić, M. Slunjski, M. Polaček, 2005: Ovodobno stanje prijevoza drva kamionskim skupovima u šumarstvu RH (Present Status of Timber Transport by Track Units in Croatian Forestry). Nova mehanizacija šumarstva, 26(1): 65–70.

Tomašić, Ž., 2012: Razvoj tehnologije i tehničkih sredstava u pridobivanju drva s obzirom na posebnosti šuma i šumarstva u Republici Hrvatskoj. Nova mehanizacija šumarstva, 33(1): 53–67.

Zorić, M., 2012: Inovacije u kamionskom prijevozu drva – »One stack more«. Nova mehanizacija šumarstva, 33(1): 69–78.

Zorić, M., M. Šušnjar, Z. Pandur, K. Mihaljević, 2014: Potrošnja goriva i emisija stakleničkih plinova pri kamionskom prijevozu drva u hrvatskom šumarstvu. Nova mehanizacija šumarstva, 35(1): 98–97.

Zorić, M., 2015: Uporaba novih mjernih sustava za određivanje energijske i tehničke pogodnosti kamionskog prijevoza drva. Doktorski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 1–154.

\*Godišnje izvješće 2015. Hrvatske šume d.o.o. Zagreb.

\*Pravilnik o tehničkim uvjetima vozila u prometu na cestama (NN 51/10, NN 84/10, 145/11, 140/13, 85/14).

## Abstract

### *Distribution of Load Masses and Axle Loads on Forest Truck Units during Transport of Fir Pulpwood*

*During the transport of stacked wood for processing (pulpwood), it is essential to know the total load mass because the sale of these products is based on mass. The main goal of the research is to determine the mass distribution of fir pulpwood load that can be transported with different types of truck units and to compare it with the permitted axle load limits and the total mass of the loaded truck unit. Forest truck units IVECO Trakker 500, manufactured in 2012,*

and MAN TGS 33.440, manufactured in 2014, were used in this research. Both truck units are equipped with the same hydraulic crane Epsilon Palfinger M110Z and trailers PSM 200.

During the research, axle loads were measured by a portable measuring system of four measuring weighing scales DINI ARGEO WWSC. Measurement accuracy of the measuring system is 1 kg. For research purposes, the portable weighing system was calibrated using certified standards for calibration of scales.

The axle loads of the empty truck unit IVECO were measured six times, and MAN truck unit eight times during the study. The mass of MAN truck unit is smaller on average by 570 kg. In both unloaded truck units, the highest axle load is on the second truck axle. Based on the comparison with legal limits, it has been determined that the payload of MAN and IVECO truck units is 21 341 kg and 20 771 kg, respectively.

A total of 24 measurements of axle loads on loaded truck units were conducted with different loads of fir pulpwood – 11 times on the truck unit IVECO and 13 times on the truck unit MAN.

The distribution of total axle loads in both truck units is about equal. 60% of the total load is on the truck, and 40% on the trailer. Slight deviations of 1–2% have been found between axle loads on the investigated trucks units.

Masses of the loads are calculated from the difference between the axle loads of loaded truck units and the average value of the axle loads of unloaded truck units.

The lowest values of the load mass are distributed to the front truck axle, and they account on average for 21% and 17% of the mass of load of IVECO and MAN truck unit, respectively.

Based on the collected data, differences were established between methods of stacking wood in the loading space of the truck. It was also determined that these differences did not affect the occurrence of overloading. The occurrence of overloading or exceeding the permissible total mass of truck units during transport on public roads is primarily affected by the total mass of the load.

The results of the research point to the guidelines for the development of truck units and lead to certain conclusions regarding the application of truck units in the timber transport.

*Keywords:* forest truck unit, mass of the load, axle load, legal restrictions, fir pulpwood

---

Adrese autorâ – Authors' address:

Izv. prof. dr. sc. Marijan Šušnjar \*

e-pošta: susnjar@sumfak.hr

Dr. sc. Zdravko Pandur

e-pošta: pandur@sumfak.hr

Marin Bačić, mag. ing. silv.

e-pošta: mbacic1@sumfak.hr

Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Zavod za šumarske tehnike i tehnologije

Svetošimunska 25

10 000 Zagreb

HRVATSKA

Dr. sc. Marko Zorić

e-pošta: marko.zoric@salix-plan.hr

SALIX PLAN d.o.o.

Odjel za konzultantske usluge

Čalogovićeve 11

10 010 Zagreb

HRVATSKA

\* Glavni autor – Corresponding author

Primljeno (Received): 9. 10. 2016.

Prihvaćeno (Accepted): 31. 10. 2016.



# Mogućnosti primjene gabiona

**Hrvoje Nevečerel, Kristina Pavešić, Iva Murgić, Ivica Papa, Matija Landekić,  
Kruno Lepoglavec**

## *Nacrtač – Abstract*

*Gabioni su žičane košare ispunjene kamenom, ali ispuna može biti i od drugoga materijala (cigla, drvo, ukrasno staklo). Počeci upotrebe takvih sustava sežu još u najranije civilizacije, a svoju su primjenu zadržali do danas. Tri su osnovna oblika gabiona: gabionska košara, gabionski madraci i vrećasti gabioni. Gabionske košare uglavnom služe (Brooks i Nielsen 1992) kao potporni ili ogradni zid, a rjeđe kao stabilizacija. Gabionski su madraci svojevrsni žičani »jastuci« ispunjeni kamenim materijalom koji služi za oblaganje riječnih korita, kanala, potoka i bujica radi regulacije vodenih tokova i sprečavanja erozije tla. Vrećasti gabioni (gabionske vreće) u posljednje se vrijeme najčešće upotrebljavaju pri radovima na učvršćivanju korita rijeka i podnožja nasipa. Gabioni danas služe u mnogim područjima ljudske djelatnosti, a najvažniji je doprinos zaštitna funkcija pri regulaciji vodotokova i pokosa na cestama. Stabilizacija i utvrđivanje nasipa gabionima potvrđuje njihovu široku primjenu. Dodatan je doprinos i njihova dekorativna funkcija zbog koje se upotrebljavaju pri uređenju okoliša. Zbog široke mogućnosti primjene gabione danas priznaje većina inženjera diljem svijeta kao standardni građevinski materijal. Prednosti i nedostaci primjene gabiona polazna su točka u njihovoj upotrebi te poticaj za daljnja istraživanja.*

*Ključne riječi: gabioni, zaštita pokosa, gospodarska cesta manje nosivosti, uređenje okoliša, upravljanje vodenim tokovima*

## **1. Uvod – Introduction**

Gabion (od talijanskoga *gabbione*, što znači »veliki kavez«) znači kavez, cilindar ili kutija ispunjena kamenjem, pijeskom ili zemljom. Koristi se u građevinarstvu, cestogradnji i uređenju okoliša, a ima i vojnu primjenu (slika 1).

U svojoj su osnovnoj ideji gabionske strukture izrađene od zavarene žičane rešetke (Hilfiker 1991) spojene u cjelinu i raspoređene pod određenim kutom. Rešetke su međusobno učvršćene tako da omeđuju volumen.

Gabioni (slika 2) dolaze u tri osnovna oblika (Freeman i Fischenich 2000): gabionska košara, gabionski madraci i vrećasti gabioni. Sve tri vrste sastoje se od žičanih mrežastih košara i ispune. Ispuna se obično sastoji od kamenoga materijala, ali je moguća i upotreba drugoga materijala (npr. cigla, drvo, ukrasni kamen). Razlike su između gabionskih košara i madraca

u debljini i opsegu. Madraci su plići i konstruirani tako da zaštite korita i nasipe od erozija. S druge strane, gabionske košare služe za zaštitu nasipa tamo gdje madraci nisu dostatni ili služe pri stabilizaciji padina, litica i ostalih struktura. Vrećasti je gabion načinjen od pocinčanoga, dvostruko namotanoga šesterokutnoga pletiva, a ispuna je od šljunka. Ako jedno oko mreže pukne, dvostruki pleter sprečava daljnje pucanje pletiva i rasipanje šljunka. Korisni su zato što su ispunjeni kamenjem koje bi pojedinačno bilo premaleno da izdrži snagu erozije. Gabioni se mogu tvoriti (Matešić 2012) od šesterokutnoga čeličnoga pletiva, zavarenih čeličnih mreža, prednapregnutoga PEHD i polipropilenske trake s otvorima i rebrima.

Gabione danas priznaje (Berney i dr. 2001) većina inženjera diljem svijeta kao standardni građevinski materijal. Projektanti (Brooks i Nielsen 1992) imaju širok izbor veličina gabionskih struktura, teksture i boje ispune te konfiguracije koje nude razni proizvođači.



**Slika 1.** Topovski položaji u XVI. stoljeću (Izvor: *Le diverse et artificiose machine del capitano Agostino Ramelli*, str. 708)

**Fig. 1** Cannon emplacements in the XVI century (Source: *Le diverse et artificiose machine del capitano Agostino Ramelli*, 708 p.)

## 2. Povijest nastanka i prve upotrebe gabiona – *An account of the development and the first use of gabions*

Povijest se gabiona (Klingeman i dr. 1984) može pratiti od antike. Egipćani su se koristili strukturama poput gabiona (Bekaert 1977) prilikom izgradnje nasipa duž Nila oko 5000. godine pr. Kr. Kinezi su slične strukture upotrebljavali uzduž rijeke Hoangho oko 1000. godine pr. Kr. U svojim deset knjiga o arhitekturi, napisanih oko 20. pr. Kr., rimski arhitekt Vitruvije opisao je upotrebu gabiona kao privremene brane, odnosno pregrade. Julije Cezar također se koristio njima za privremene utvrde tijekom svoje kampanje u Galiji. Prvotni su gabioni bili tkani od biljnih vlakana.

Kao što je vidljivo iz prethodnih radova, prije 1879. godine gabioni su izrađivani (Freeman i Fischenich 2000) od biljnoga materijala, što je ograničavalo njihov

korisni vijek trajanja. Smatra se da je oko 1879. godine, i to u Italiji, prvi put upotrijebljena žičana mreža u izradi gabionskih košara. To je vjerojatno prva upotreba moderne žičane mreže (košare), koja se upotrebljava i danas. U prilog tomu i Sublette (1979) navodi primjer izgradnje »modernim gabionima« 1894. godine (slika 3) u blizini grada Casalecchio di Reno (Italija). Takva gabionska struktura od žičane mreže još i danas funkcionira na odgovarajući način (Agostini i dr. 1971). To pokazuje kako pravilno održavana gabionska struktura može imati dug životni vijek.

## 3. Problematika istraživanja – *Scope of research*

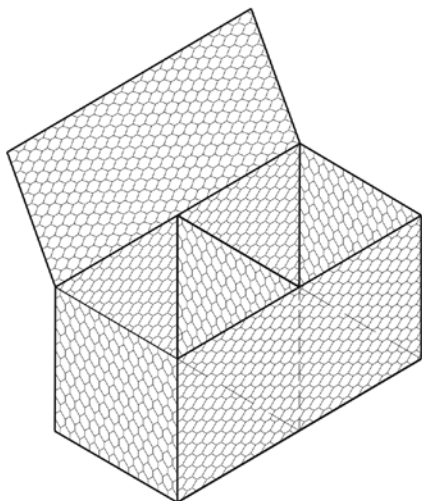
U drugoj polovici prošloga stoljeća izrađeno je mnoštvo projekata i studija (Simons i dr. 1984) o korisnosti gabiona u različitim vrstama namjene. Tako su Roth (1977), Velut i dr. (1977), Schuster (1974), Stephenson (1980), U. S. Forest Service (1979) i Burroughs (1979) prikazali osnovnu primjenu, glavne projekte, općenitu provedbu i studije slučaja različitih vrsta gabionskih struktura.

Brown je (1979) istraživao upotrebu gabionskih obloga za zaštitu nasipa s obzirom na teorijske i eksperimentalne aspekte i na prototipove. I drugi su autori (Lavagnino 1974, Oswalt i dr. 1975, Keown i dr. 1977, Michel 1977, Pernier 1977, Götz 1978, Oswalt i Maynord 1978) istraživali primjenjivost različitih vrsta gabiona pri zaštiti i povećanju stabilnosti nasipa, odnosno smanjenju erozijskih procesa.

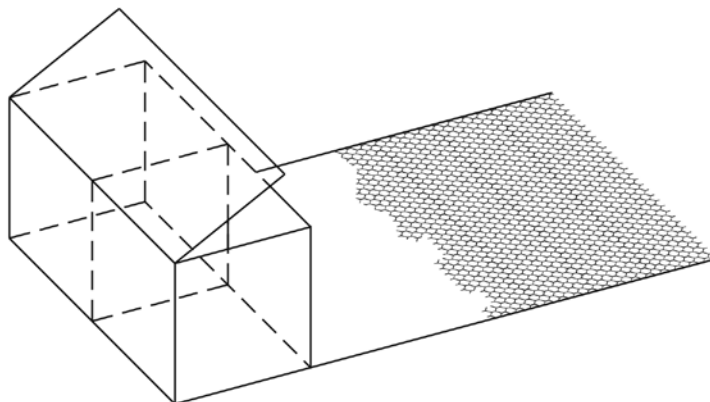
U cestogradnji su mnogobrojni autori istraživali mogućnosti upotrebe gabionskih struktura. Leydecker je (1973) razvio metodu postavljanja gabiona na prijelazima makadamskih cesta i manjih vodenih tokova, što se pokazalo i ekonomski i estetski prihvatljivim. Na gospodarskim cestama gabioni služe za stabilizaciju (Transportation Research Board 1979, Marwa i Kimaro 2005) ili se kameni materijal (Mulmi 2009) pri izgradnji i rekonstrukciji cesta može upotrijebiti za izradu gabiona kao lokalni materijal. Jedan od pristupa rješavanju problema klizišta na autocestama upravo je upotreba gabiona. Royster (1975) raspravlja o različitim načinima primjene geotehnike u kombinaciji s gabionima za ublažavanje problema stabilnosti klizišta. Novi pristup u razvoju (Park i dr. 2008 i 2009) boljega ekološkoga potencijala zasjeka šumskih cesta ističe se prednošću sprečavanja erozije gabionskim strukturama s vegetacijom. Webster i Watkins (1977) istražuju otpornost gabionskih struktura za prilazne ceste, preko slabo nosivih tala, pri izgradnji mostova.

Obalno inženjerstvo koristi se gabionskim strukturama pri projektiranju objekata za zaštitu obale.

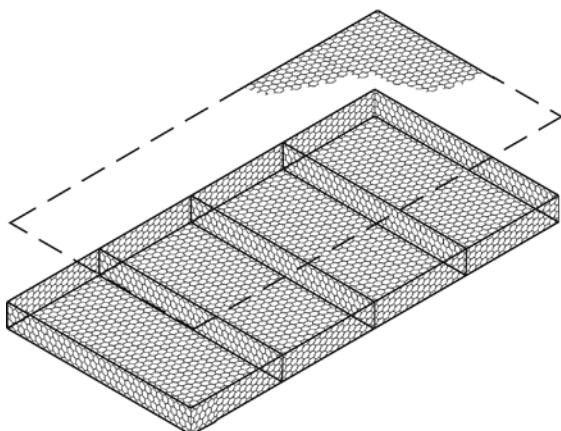
Shematski prikaz gabionske košare  
*The design concept of gabion box*



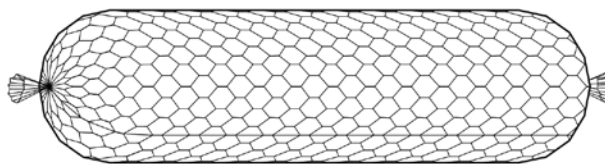
Shematski prikaz gabionske košare s armiranom pločom  
*The design concept of box-shaped gabion with a reinforced plate*



Shematski prikaz gabionskog madraca  
*The design concept of mattress*



Shematski prikaz vrećastog gabiona  
*The design concept of gabion sack*



**Slika 2.** Tri osnovna oblika gabiona  
**Fig. 2.** Three basic forms of gabions

Tako Chisholm (1976) opisuje upotrebu gabiona kao sekundarne zaštite duž obale Novoga Zelanda, a slična se primjena nalazi na obali jezera Huron (Quigley i dr. 1974). U obalnim područjima s izraženim djelovanjem plime gabioni su prijeko potreban element u stabilizaciji (Morais i dr. 2004), osobito u razdobljima najvećega utjecaja plime. Još jedna praktična primjena gabiona (Ground Engineering Magazine 1976) pojavljuje se pri stabilizaciji obala jezera i oborinskih slivova u urbanim područjima.

Gabionske strukture nalaze primjenu u istraživanjima poboljšanja i mijenjanja tokova radi očuvanja ihtiofaune u rehabilitaciji staništa. Njihova relativna učinkovitost i utjecaj na biokemijski sastav tokova promjenjiva je u istraživanjima koja su proveli Maughan i dr.



**Slika 3.** Vrećasti gabioni u Casalecchio di Reno  
**Fig. 3** Bag gabions in Casalecchio di Reno



(1980), Cooper i Wesche (1976), Bradt i Wieland (1978), Barton i Winger (1973). Primjer učinkovite upotrebe gabiona prilikom sprečavanja migracije mladih lososa u more opisali su McSwain i Schmidt (1976).

Gabionske su strukture također bile predmet mnogih istraživanja (Beier i dr. 2015, Defrance i dr. 2014, Koussa i dr. 2013, Harmelink i Hajek 1973) kao prepreke koje smanjuju razinu buke u urbanim sredinama, a ujedno su i dobro uklopljene u urbana područja. Također su gabioni, radi smanjenja razine buke, proučavani (Van Renterghem 2015) u kombinaciji s drugim prirodnim materijalom, uključujući i vegetaciju. Osnovna ideja upotrebe lokalnoga materijala zadržana je u obnovi urbanih sredina (Dam 2010) pri čemu je kao lokalni materijal upotrijebljena stara cigla kao ispunja gabiona. Nadalje, Elinç i dr. (2013) ističu primjenu ozelenjavanja gabiona čime se značajno povećava estetska i povijesna vrijednost urbanih sredina Mediterana.

#### 4. Općenita primjena gabiona – *General application of gabions*

Iz navedenih istraživanja moguće je sintetizirati širok spektar primjene gabiona i gabionskih konstrukcija. Tako se gabioni koriste u mnogo slučajeva. Navest ćemo neke podjele zbog boljšeg razumijevanja cjelokupne problematike.

Klingeman i dr. (1984) navode da gabioni služe prilikom usmjeravanja riječnih korita i obrane od poplava, kao obloge kanala, potporni zidovi, upornjaci mostova, pri izgradnji marina i rampa za brodove, za

oblaganje uljevnoga i izljevnoga dijela propusta te zaštitu obala i plaža.

Gabioni su korišteni u cijelom svijetu kao elementi zida (Kandaris 1999) za kontrolu erozije, melioraciju tla, potporne konstrukcije i uređivanje vodenih tokova.

Izgradnja gabiona slijedi određene utvrđene norme (Matić 2009), a gabioni se upotrebljavaju pri:

- ⇒ utvrđivanju obala rijeka i oštećenih nasipa
- ⇒ izgradnji cesta
- ⇒ stabilizaciji odrona zasjeka i usjeka te zaštiti cesta uz primjenu visoko otpornih mreža
- ⇒ zaštiti naselja na nagnutim terenima
- ⇒ hidrotehničkim radovima na šumskom i poljoprivrednom zemljištu, odnosno za unaprjeđenje kanala
- ⇒ izgradnji objekata za stabilizaciju nagiba te održavanje tih objekata – isušivanje nagnutih šumskih i poljoprivrednih terena
- ⇒ potpori brana u upravljanju tokova rijeka i bujica
- ⇒ u slivovima za zaštitu protuerozijskih biljnih vrsta *Salix*, *Pinus*, *Rubus* itd.

#### 4.1 Primjena gabiona pri radovima na vodenim tokovima – *The use of gabions in watercourse works*

Zahvaljujući svojoj otpornosti, fleksibilnosti i elastičnosti gabionske su strukture prikladne za učvršćivanje i izgradnju obala vodenih tokova (Evette i dr. 2009) kao što su izravnavanje riječnoga korita ili njegovo novo usmjeravanje, izgradnja umjetnih ustava,



**Slika 4.** Uređenje vodenih tokova gabionima

**Fig. 4** Arrangement of watercourses by gabions



ustavnih jezera itd. Sposobnost upijanja sedimenata i smanjenje hidrostatskog potiska gabione čini nezamjenjivim u učvršćivanju obala vodenih tokova (rijeka, potoci, bujice).

Brane su poprečne konstrukcije (Berney 2001) koje mogu ukloniti opasnost od erozije tekućica posebice u njihovim gornjim dijelovima. One također smanjuju ukupnu količinu nanosa u donjim tokovima. Kako bi se povećala stabilnost i zaštitila gabionska mreža, vrh se brane prekriva slojem armiranoga betona. U nekim slučajevima, kada je potrebno smanjiti erozijsko djelovanje prigušenoga toka vode (McIntyre i dr. 1992), u smjeru doline prije same brane gradi se protubrana kojom se dobiva bazen u kojem se tijekom vode smiruje. Prednost gabionskih struktura jest u tome da se one i naknadno mogu vrlo lako nadograditi. To se postiže preinakom profila poprečnoga presjeka, pri čemu postojeći dijelovi brane ostaju nepromijenjeni.

Upotreba gabionskih madraca (Maynord 1995) vrlo je korisna za učvršćivanje obala rijeka i kanala zbog njihove fleksibilnosti. Njima se mogu ograničiti filtracijski pomaci vode između kanala i okolnoga tla, čime se poboljšava stabilnost obale, a štiti se i obala i korito rijeke od erozije. Učvršćivanje obala vodenih tokova pomoću gabionskih madraca mogu se izvoditi u bilo kakvim vremenskim uvjetima – za suhih razdoblja, pa čak i pod vodom.

Upotreba gabiona pri sanaciji rijeka osobito je učinkovita i ima niz prednosti, koje se mogu sažeti u sljedeće:

- ⇒ mogućnost jednostavnoga i brzoga djelovanja u svim klimatskim i ekološkim uvjetima
- ⇒ stvaranje fleksibilnih i elastičnih konstrukcija prilagodljivih gibanjima tla koje smanjuju opterećenja hidrostatskoga tlaka vode
- ⇒ velika otpornost na oksidacijske procese upotrebom PVC pletiva.

Gabioni često služe (Tappel 1986) za poboljšanje vodenih staništa i obnovu (Klassen i Northcote 2011) oštećenih staništa riba u tokovima niskoga protoka. Međutim, gabioni ne bi trebali biti instalirani okomito na tok strujanja, ako se očekuje brzina vode veća od 1,5 m/s. Ta bi preporuka, pri većim brzinama vode te izostankom upotrebe gabiona, olakšala prolazak riba na slapovima i kaskadama.

## 4.2 Primjena gabiona pri radovima na cestama

### *The use of gabions in roadworks*

Gabioni su potporne konstrukcije od nasutoga materijala, a žičane su košare gabiona ispunjene šljunkom ili kamenom (Nonveiller i dr. 1979). Žičane su košare načinjene od pocinčane čelične žice koja je pojačana na rubovima okvirom od okrugloga čelika. Prazne se



**Slika 5.** Slaganje gabionskoga obložnoga zida

**Fig. 5** Construction of gabion retaining wall

košare slažu na mjesto gdje se podiže zid, a potom se ispune, zatvore i vežu. Taj se postupak ponavlja do projektirane visine. Takvi su zidovi vrlo prikladni za stabilizaciju manjih klizišta uz ceste jer se mogu izvoditi na kratkim dionicama, a time se izbjegava dodatni poremećaj već nestabilne kosine.

Upotreba je gabionskih konstrukcija (Transportation Research Board 1979, Marwa i Kimaro 2005) iznimno učinkovito rješenje za zaštitu cesta. Potporni zidovi od gabiona kao izravna potpora nasipa ceste ili kao zaštita pokosa zasjeka (usjeka) iznad ceste imaju ova važna svojstva:

- ⇒ elastičnost gabionskih struktura omogućuje povećanu prilagodljivost gibanjima tla
- ⇒ vodopropusnost zbog smanjene zbijenosti ispunje pruža učinkovitu drenažu
- ⇒ mogućnost nadogradnje u visinu i širinu ne remeti funkcionalnost postojeće konstrukcije.

Ovisno o primjeni pri radovima na cestama, razlikujemo gabionske zidove ispod ceste (potporni zid) i iznad ceste (obložni zid). Također je moguća i stabilizacija donjega ustroja šumskih (Leydecker 1973) i pristupnih cesta manje nosivosti (Webster i Watkins 1977), kao što je opisano u prethodnom dijelu ovoga rada.

Promatramo li sustav odvodnje na cestama, gabione položene u svojstvu obloga i zaštite ispod propusta (Klassen i Northcote 2011) trebalo bi postaviti nizvodno od propusta.

## 4.3 Primjena gabiona pri uređenju okoliša – *The use of gabions in landscaping*

U uređenju okoliša gabioni (Liu i dr. 2012) vrlo se često upotrebljavaju kao obložni zidovi, a nešto rjeđe

kao potporni zidovi, i to osobito na nagnutim terenima. Gabionski zidovi služe za stabilizaciju tla, pružaju odličnu drenažu i pomoć u rješavanju mnogih drugih problema.

Gabionske je zidove moguće koristiti i kao zaseban zid ili ogradu (Sauter 2010) jer imaju brojne prednosti: nude pouzdanu zaštitu od buke, privatnost, mogu služiti kao zaštita od vjetrova i atraktivnoga su dizajna. Nadalje, materijal se ispune lako prevozi, što znači manje utrošenoga vremena pri izgradnji, čime se ostvaruje i financijska ušteda. Postoje brojni načini za primjenu gabionskih zidova u krajoliku parka ili vrta. Gabionski zid može lako postati ukrasni element. Može se koristiti kao ograda, klupa, cvjetnjak, kao vodeni element (fontana, kaskada ili obrub jezera ili bare), pa čak i kao vanjski kamin.

Okolišna prihvatljivost gabiona i sposobnost kombiniranja (Ganea 2014) s drugim materijalom pridonose rastu njihove popularnosti. Gabioni se mogu kombinirati s drvom, kovinama, betonom ili bilo kojom zelenom ogradom. Kao ispuna gabionskih košara mogu se koristiti različite vrste stijena i ukrasnoga kamenja u raznim kombinacijama. Stijene i kamenje najčešća su ispuna (Kremy 2014) gabiona jer ispunjavaju kriterije izdržljivosti, dugotrajnosti i stabilnosti. Kada je gabionski zid zamišljen kao dekorativni element, moguće je odabrati ispunu visoke estetske vrijednosti. Takvi ukrasni zidovi mogu biti ispunjeni cjepanicama, šljunkom, šarenim staklom, školjkama, starom opekama ili keramikom, borovim češerima ili slamom.

Kameni zidovi (Francis i Hoggart 2009) s površinskim pukotinama i heterogene zidne površine (poput gabiona) pogodni su za sadnju autohtone vegetacije, pri čemu je heterogena zidna površina također važan pejzažni element uređenja prostora. Iskustvo je poka-

zalo (Assembly Manual 2012) kako je ozelenjavanje gabionskih konstrukcija najuspješnije ako je integrirano u ranoj fazi projektiranja. Ozelenjavanje ne treba poduzimati kao naknadnu građevinsku aktivnost.

Landis i dr. (2005) ističu kako inženjerske strukture poput gabiona otežavaju obnovu vegetacije, ali su ipak osmislili i primijenili učinkovit način njihove vegetacijske obnove. Beikircher i dr. (2010) zaključuju da su slobodno stojeći zasađeni gabioni alternativna tehnika pri obnovi i osiguranju kritičnih dijelova strmih padina. Prekondicioniranje biljnoga materijala koji se koristi za obnovu lokaliteta sklonih suši može povećati otpornost na sušu nekih biljnih vrsta. Odabir je biljaka određen lokacijom (Kopčić 2012) na koju se postavlja gabionski zid. Ako je riječ o urbanoj sredini, koristit će se ukrasne kultivirane vrste.

Gabionski zidovi sve se više podižu (Nash 2014) u poslovnim i stambenim naseljima kao estetsko-zaštitni elementi ili kao postupak recikliranja šute (ili cigle) radi očuvanja autohtonosti prostora.

## 5. Održavanje gabionskih konstrukcija *Maintenance of gabion constructions*

Održavanje gabiona (Freeman i Fischenich 2000) odnosi se na provjeravanje mreže kako ne bi bilo slomljenih žica pri čemu postoji mogućnost gubitka ispune. Sve objekte koji se naslanjaju na gabione potrebno je ukloniti da se gabioni ne bi oštetili. Ako na vrhu gabionskih konstrukcija dolazi do erozije, potrebno je poduzeti adekvatne mjere kako se ne bi urušile. Mnogi su autori istraživali opterećenja na gabionske konstrukcije (Yang i Shen 2015) i njihovu trajnost koja izravno utječe na troškove eventualnoga održavanja.



**Slika 6.** Primjeri primjene gabiona u uređenju okoliša

**Fig. 6** Examples of application of gabions in landscaping

## 6. Rasprava sa zaključcima – Discussion with conclusions

Prednosti gabiona leže u tome što osiguravaju dobro dreniranje tla iza konstrukcije, a njihova fleksibilnost omogućuje primjenu u tlima nejednolike krutosti, koja inače mogu izazvati probleme krutim zidovima. Zidovi od nasutoga materijala dobro se uklapaju u okoliš, jer ispuna (Brooks and Nielsen 1992) u košarama izgleda prirodno. Nedostatak je što punjenje kamenom zahtijeva mnogo ručnoga rada, koji je u današnje vrijeme skup.

Prednosti su upotrebe (FAO 1998) gabiona: jednostavna izgradnja, nekvalificirani ih radnici mogu postaviti uz odgovarajući nadzor, jeftini su, kameni je materijal dostupan na mnogim mjestima u blizini gradilišta, potrebno je kupiti samo žičane mreže i prevesti ih na gradilište, vrijeme je izgradnje kratko, vrlo su izdržljivi, otporniji su u odnosu na vezivno sredstvo zida zbog fleksibilnosti, brza odvodnja povećava posmičnu čvrstoću tla i smanjuje opasnost od erozije zaštićenih objekata, prirodno ozelenjavanje gabione čini još stabilnijima te se uspješno integriraju u okoliš.

Gabioni imaju mnoge prednosti (Kandaris 1999) u odnosu na drugi materijal, kao što su: jednostavnost instalacije, prilagodljivost teškim lokalitetima, upotreba lokalnoga materijala za ispunu, izgradnja pomoću relativno nekvalificiranih zaposlenika, fleksibilnost, lako održavanje, poroznost, ekonomičnost, prirodni izgled – može se lako zazeleniti. Thorburn i Smith (1985) nakon testiranja opterećenja opisuju nedostatke visokoga (8 m) zida od gabiona, izgrađen u podnožju vrlo strmoga zasjeka, te daju preporuke za izradu projekata sličnih situacija. Deformacijske je aspekte (Nimbalkar i dr. 2006), s obzirom na visinu gabionskih konstrukcija (Jayasree i Beena 2011), potrebno sagledati preko vijeka trajanja, što je novi trend u projektiranju i održavanju gabionskih zidova. Očite su prednosti (Burroughs 1979) upotrebe gabiona s obzirom na njihovu fleksibilnost, snagu, trajnost, propusnost, uređenje okoliša i ekonomičnost. Glavni nedostaci mogu biti u slučaju poddimenzioniranosti, estetskih razloga, utjecaja mreže na ihtiofaunu i puknuća mreže zbog abrazije.

Glavne prednosti gabionskih konstrukcija općenito su:

- ⇒ dugi vijek trajanja
- ⇒ elastičnost konstrukcija
- ⇒ velika otpornost na atmosferske utjecaje
- ⇒ neograničena mogućnost oblikovanja u prostoru
- ⇒ dobra ekološka svojstva
- ⇒ mala potrošnja materijala
- ⇒ brzo postavljanje i smanjena potreba za održavanjem

- ⇒ ne postoji problem odvodnjavanja gabionske konstrukcije
- ⇒ temeljenje se ne mora raditi do dubine smrzavanja
- ⇒ moguća je upotreba otpadnoga ili recikliranoga materijala
- ⇒ mogućnost izvođenja radova u zimskim mjesecima
- ⇒ visoka dekorativna vrijednost odabranih ispuna
- ⇒ mogućnost kombiniranja s drugim materijalom u uređenju okoliša.

Glavni nedostaci gabionskih konstrukcija općenito su:

- ⇒ ozelenjavanje je dugotrajan proces
- ⇒ stabilnost opada s visinom konstrukcije
- ⇒ pomanjkanje stručnoga nadzora pri izgradnji
- ⇒ vrijeme ručnoga rada povećava troškove
- ⇒ neadekvatno postavljene gabionske konstrukcije mogu utjecati na ihtiofaunu
- ⇒ subjektivna estetska neprihvatljivost.

Primijenjen je inženjerski pristup koji se zasniva na promišljanju stručnjaka, prilagodbi okolišu i racionalizaciji troškova. Uređenje vodenih tokova stalnoga i iznenadnoga karaktera uspješno se tisućama godina rješava u kombinaciji gabionskih konstrukcija s drugim poznatim rješenjima. Tehničke mjere zaštite cestovnih objekata, klizišta i smanjenje utjecaja erozije preduvjet su implementaciji bioloških metoda koje dodatno pomažu u rješavanju problema diljem svijeta. Funkcionalnost je primijenjenih tehnika neupitna, ali je naša obaveza praćenje stanja primijenjenih konstrukcija kako bi pravovremenim postupcima umanjili moguće štete i nadogradili postojeća znanja. Prilagođavanje sve većim ekološko-estetskim zahtjevima, osobito u urbanim sredinama, potiče stručnjake i znanstvenike na dodatan napor pri odabiru tehnički prihvatljivih inovacija. Nadogradnja je moguća u svakoj od opisanih djelatnosti, a konačan se rezultat temelji na sintezi širokoga spektra mogućnosti razvoja u svim interesnim sferama pripadajućih djelatnosti.

## 7. Literatura – References

- Agostini, R., T. A. G. Bristow, R. Mazzotti, G. Lunardi, F. Mazzini, 1971: Maccaferri Gabions. S.p.A. Officine Maccaferri, Bologna, Italy, 1–143.
- Assembly Manual, 2012: Gabion Structures. Maccaferri SA (Pty) Ltd, Durban, South Africa. 1–6.
- Barton, J. R., P. V. Winger, 1973: Rehabilitation of a channelized river in Utah in Hydraulic Engineering and the Environment. Proceeding of the 21<sup>st</sup> Annual Hydraulic Division Specialty Conference, Montana State University, Bozeman.



- Beier, M., T. Lölgen, M. Starnberg, 2015: Innovative measures for reducing noise radiation from track. *Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems*, 126: 173–180. DOI: 10.1007/978-3-662-44832-8\_23.
- Beikircher, B., F. Florineth, S. Mayr, 2010: Restoration of rocky slopes based on planted gabions and use of drought-preconditioned woody species. *Ecological Engineering*, 36(4): 421–426.
- Bekaert Steel Wire Corp., 1977: Bakaert Gabions. Form No. 6: 1–12.
- Berney, O., J. Charman, L. Kostov, L. Minetti, J. Stoutendijk, D. Tricoli, 2001: Small Dams and Weirs in Earth and Gabion Materials. AGL/MISC/32/2001, FAO, Rome, 1–172.
- Burroughs, M. A., 1979: Gabions: Economical, Environmentally Compatible Bank Control. *Civil Engineering–ASCE*, 49(1): 58–61.
- Bradt, P. T., G. E. Wieland, 1978: The impact of stream reconstruction and a gabion installation on the biology, and chemistry of a trout stream. *National Tech, Information Service, Springfield*, 1–122.
- Brooks, H., J. P. Nielsen, 1992: Basics of Retaining Wall Design. HPAPublications, 10<sup>th</sup> Edition, Newport Beach, California, 1–246.
- Brown, C. T., 1978: Gabions and reno-mattresses as low cost terminal revetments, in *Managing the coast*. 4<sup>th</sup> Austr. Conf. Coastal and Ocean Eng., Adelaide. Barton Inst. of Engineers, Australia, 222–223.
- Chisholm, D. H., 1976: Wellington Airport Extension – additional sea protection. *New Zealand Engineering*, 31(5): 157–161.
- Cooper, C. O., T. A. Wesche, 1976: Stream channel modification to enhance trout habitat under low flow conditions *Nat. Tech. Information Service, Springfield*.
- Dam, T., 2010: Texture on site-Findings on natural stone and paving. Abstract from As Found; World in Denmark Conference, Frederiksberg, Denmark.
- Defrance, J., P. Jean, F. Koussa, T. Van Renterghem, J. Kang, J. Smyrnova, 2014: Innovative barriers. *Environmental methods for transport noise reduction*, 19–47.
- Freeman, G. E., J. C. Fischenich, 2000: Gabions for stream-bank erosion control. ERDC TN-EMRRP-SR-22, Vicksburg, MS: U. S. Army Engineer Research and Development Center, 1–9.
- Elinç, Z. K., L. G. Kaya, H. M. Danacı, I. Baktir, R. S. Göktürk, 2013: Use of outdoor living walls in Mediterranean-like climates: A case study of Antalya Kaleiçi. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 11(1): 687–692.
- Evette, A., S. Labonne, F. Rey, F. Liebault, O. Jancke, J. Girel, 2009: History of bioengineering techniques for erosion control in rivers in Western Europe. *Environmental Management*, 43(6): 972–984.
- FAO, 1998: A Manual for the Planning, Design and Construction of Forest Roads in Steep Terrain, 1–188.
- Francis, R. A., S. P. G. Hoggart, 2009: Urban river wall habitat and vegetation: Observations from the River Thames through central London. *Urban Ecosystems*, 12(4): 468–485.
- Ganea, S., 2014: Gabion Walls – What They Are And How To Use Them In Your Landscape. HomeEdit – Interior design & Architecture. <http://www.homedit.com/gabion-walls/>.
- Götz, W., 1978: Stabilization of river banks in semi-arid regions. *Wasserwirtschaft*, 68(5): 147–154.
- Harmelink, M. D., J. J. Hajek, 1973: Performance testing of freeway noise barriers. *ASCE Journal of Transportation Engineering*, 99(1): 123–138.
- Hilfiker, W. K., 1991: Welded wire component gabions and method of making the same and construction soil reinforced retaining walls therefrom. U.S. Patent No. 5076735.
- Jayasree, P. K., K. S. Beena, 2011: Geometric parametric studies on reinforced soil gabion walls. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers–Ground Improvement*, 164(1): 21–32.
- Kandaris, P. M., 1999: Use of gabions for localized slope stabilization in difficult terrain. The 37<sup>th</sup> U.S. Symposium on Rock Mechanics (USRMS), 7–9 June, Vail, Colorado, 1–8.
- Keown, M. P., E. Dardeau, N. R. Oswalt, E. B. Perry, 1977: Literature survey and preliminary evaluation of streambank protection methods. U.S. Army Engr. Waterways Exp. Stn., Vicksburg.
- Klassen, H. D., T. G. Northcote, 2011: Use of gabion weirs to improve spawning habitat for pink salmon in a small logged watershed. *North American Journal of Fisheries Management*, 8(1): 36–44.
- Klingeman, P. C., S. M. Kehe, Y. A. Owusu, 1984: Streambank erosion protection and channel scour manipulation using rockfill dikes and gabions. Technical Report WRRI-98, Water Resources Research Institute, Oregon State University, Corvallis, 1–169.
- Kopčić, A., 2012: Važnost i neophodnost bioinženjerskih metoda u rješavanju problema erozija i klizišta tla. *Tehnički glasnik*, 6(2): 199–201.
- Koussa, F., J. Defrance, P. Jean, P. Blanc-Benon, 2013: Acoustic performance of gabions noise barriers: numerical and experimental approaches. *Applied acoustics*, 74(1): 189–197.
- Kremy, 2014: Gabion wall – how to use it in the garden landscaping? Minimalisti. The interior design blog, Home & Garden, <http://www.minimalisti.com/garden-landscape/03/garden-landscaping-ideas-gabion-wall.html>.
- Landis, T. D., K. M. Wilkinson, D. E. Steinfeld, S. A. Riley, G. N. Fekaris, 2005: Roadside revegetation of forest highways: new applications for native plants. *Native Plant Journal*, 6(3): 297–304.
- Lavagnino, S., 1974: Gabions guard river banks against 50,000 cfs flow. *ASCE Civil Engineering*, 44(5): 88–89.
- Leydecker, A. D., 1973: Use of gabions for low water crossings on primitive or secondary forest roads. U.S. Forest Service, Field Notes, 5(5–6): 1–136.
- Liu, Z., G. L. Yang, C. Sheng, J. N. Xu, 2012: Reinforced earth retaining wall of green gabion by field test. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2: 709–716.
- Maynard, S. T., 1995: Gabion-mattress channel-protection design. *Journal of hydraulic engineering*, 121(7): 519–522.
- Marwa, E. M. M., D. N. Kimaro, 2005: Geomorphological mapping for route selection and road construction at lower



- Kihansi in Tanzania. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 64(4): 333–339.
- Maughan, O. E., K. L. Nelson, J. J. Ney, 1978: Evaluation of stream improvement practices in southeastern trout streams. Oklahoma Coop. Fisheries Research Unit, Water Resources Research Center, Stillwater.
- Matešić, L., 2012: Geotehničke konstrukcije. Potporne konstrukcije. Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet Rijeka, ppt.
- McIntyre, C., G. Aron, J. H. Willenbrock, M. Demler, 1992: Analysis of Flow through Porous Media as Applied to Gabion Dams Regarding the Storage and Release of Storm Water Runoff. Report No. 10, HRC Research Series. NAHB/NRC Designated Housing Research Center at Penn. State, Pennsylvania State University, PA, 1–12.
- McSwain, K. R., R. E. Schmidt, 1976: Gabions, perforated pipe and gravel serve as fish screens. *ASCE, Civil Engineering*, 46(5): 1–73.
- Merriam-Webster: <http://www.merriam-webster.com>
- Michel, G., 1977: Experience gained at the Service de navigation du nord related to bank protection, in “La defense des berges, des canaux et rivières”, R. Tenaud (ed). Paris, École Nat. Ponts Chaussées, Assoc. Amical Ing. Anciens Élèves, 57–65.
- Morais, J. O., L. S. Pinheiro, C. Medeiros, E. S. Pitombeira, 2004: Gabions for the Protection of Caponga Beach, Ceará Brazil: Hazards and Management. *Journal of Coastal Research*, 39: 848–851.
- Mulmi, A. D., 2009: Green road approach in rural road construction for the sustainable development of Nepal. *Journal of Sustainable Development*, 2(3): 149–165.
- Nash, C., 2014: Brownfield-inspired green infrastructure: a new approach to urban biodiversity conservation. Doctoral thesis, 1–42.
- Nimbalkar, S. S., D. Choudhury, J. N. Mandal, 2006: Seismic stability of reinforced soil-wall by pseudo-dynamic method. *Geosynthetics International*, 13(3): 111–119.
- Nonveiller, E., Z. Mayer, J. Čolig, L. Subotić, 1979: *Mehanika tla i temeljenje građevina*. Zagreb, Školska knjiga, 1–780.
- Oswald, N. R., J. F. George, G. A. Pickering, 1975: Fourmile Run Local Flood-Control Project. Alexandria and Arlington County, Virginia, U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Technical Report, H-7, 5–19.
- Oswald, N. R., S. T. Maynard, 1978: Bank protection techniques using gabions in Streambank erosion control evaluation and demonstration, work unit 3, Section 32 Program; Hydraulic Research; Vicksburg, MS, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Res. Rep. 3: 1–9.
- Park, J. H., Y. H. Jeong, H. T. Choi, 2008: Development of the Forest Road Cut-slope Rehabilitation Techniques Using Gabion Systems with Vegetation Base Materials. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*, 11(5): 92–103.
- Park, J. H., Y. H. Jeong, H. T. Choi, 2009: Using Gabion Systems with Vegetation Base Materials on Stability Analysis for the Forest Road Cut-slope Rehabilitation Techniques. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*, 12(2): 106–113.
- Pernier, M., 1977: Comparative study of different types of bank protection in “La defense des berges, des canaux et rivières”, R. Tenaud (ed.) Paris, École Nat. Ponts Chaussées, Assoc. Amicale Ing. Anciens Élèves, 13–25.
- Quigley, R. M., J. H. L. Palmer, A. Rowland, D. Bere, 1974: Groyne stabilization of slope movements and toe erosion. Lake Huron near Bayfield, Ontario, in *Proceedings, 17<sup>th</sup> Conference on Great Lakes Research, Part 1*, McMaster University, Hamilton.
- Ramelli, A., 1970: Le diverse et artificiose machine del capitano Agostino Ramelli. *Gregg International*, 1–720.
- Roth, L., 1977: Erosion control simplified by modernized metal gabion. *Dixie Contractor*, 52(8): 17–24.
- Sauter, D. 2010: *Landscape construction*. Delmar, Cengage Learning, 1–613.
- Schuster, R. C., 1974: Gabions in highway construction. *Transportation Research Board Special Report*, 148: 97–105.
- Simons, D. B., Y. H. Chen, L. J. Swenson, 1984: Hydraulic test to develop design criteria for the use of reno mattresses. Simons, Li & associates Inc. P.O. Box 1816, Fort Collins, Colorado, 1–120.
- Stephenson, D., 1980: The stability of gabion weirs. *Water Power and Dam Constr.*, 32(4): 24–28.
- Sublette, W. R., 1979: A behavioral study of gabion retaining walls. *The University of Arizona*, 1–141.
- Tappel, P. D., 1986: Limitations on the use of gabions to improve fish passage. *North American Journal of Fisheries Management*, 6(1): 131–132.
- Transportation Research Board, 1979: *Synthesis 2 – Stage Construction*. Transp. Research Board Pub., Washington, D.C., 1–37.
- TRL, 1997: *Principles of Low Cost Road Engineering in Mountainous Regions*. Overseas Road Note 16, Transport Research Laboratory, Crowthorne, 1–149.
- U.S. Forest Service, 1979: *Proceedings of the Forest Service Geotechnical Workshop held at Ames, Iowa*, National Tech Information Service, EM-7170-1; PB80-153612, 1–472.
- Van Renterghem, T., J. Forssén, K. Attenborough, P. Jean, J. Defrance, M. Hornikx, J. Kang, 2015: Using natural means to reduce surface transport noise during propagation outdoors. *Applied Acoustics*, 92: 86–101.
- Velut, D., R. Perpère, P. Mesnage, 1977: The Verdon works. The regulation dyke. *Travaux*, 504: 38–51.
- Webster, S. L., J. E. Watkins, 1977: *Investigation of Construction Techniques for Tactical Bridge Approach Roads Across Soft Ground*. Vicksburg, Miss.: U.S. Waterways Experiment Station, 1–38.
- Yang, G. L., Z. Z. Liu, G. L. Xu, X. J. Huang, 2010: Protection Technology and Applications of Gabion. *Advances in Environmental Geotechnics*, 11: 915–919. DOI: 10.1007/978-3-642-04460-1\_120
- Yang, G. L., Q. Shen, 2015: Earth Pressure on Reinforced Earth Retaining Wall by Field Test and Numerical Modeling. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 20: 701–716.

---

Abstract

---

*Possibilities of application of gabions*

*Gabions are wire baskets filled with stone; however, the filling can also be made of other materials (brick, wood, decorative glass). The use of such systems began with the earliest civilizations, and nowadays they are still in use. Gabions come in three basic forms: gabion baskets, gabion mattresses and bag gabions. Gabion baskets are mainly used (Brooks and Nielsen 1992) as a sustaining or retaining wall, and rarely as stabilization. Gabion mattresses are a kind of wire mesh »pillows« filled with stone material used for lining the river beds, canals, streams and torrents. They are used for the control of watercourses and prevention of soil erosion. Bag gabions (gabion sacks) have lately been used in the works to strengthen river beds and dam bases. Today, gabions are used in many aspects of human activities, but their most important contribution is the protection function in the regulation of watercourses and road slopes. The stabilization and embankment fortification with gabions have confirmed their widespread use. An additional contribution is their decorative function for which they are used in landscaping. Because of its wide range of applications, gabions are recognized nowadays by most engineers worldwide as a standard construction material. Advantages and disadvantages of the use of gabions are the starting point for their use and encouragement for further research.*

*Keywords: gabions, slope protection, low-volume roads, landscaping, watercourse control*

---

Adrese autorâ – Authors' address:

Doc. dr. sc. Hrvoje Nevečerel \*

e-pošta: nevecerel@sumfak.hr

Dr. sc. Ivica Papa

e-pošta: papa@sumfak.hr

Dr. sc. Matija Landekić

e-pošta: landekic@sumfak.hr

Dr. sc. Kruno Lepoglavec

e-pošta: lepoglavec@sumfak.hr

Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Zavod za šumarske tehnike i tehnologije

Svetošimunska 25

10 000 Zagreb

HRVATSKA

Kristina Pavešić

e-pošta: pavesickika22@gmail.com

Braće Radić 23

48325 Novigrad Podravski

HRVATSKA

Iva Murgić, mag. ing. silv.

e-pošta: iva.murgic7589@gmail.com

Kralja Tomislava 6

53202 Perušić

HRVATSKA

\* Glavni autor – Corresponding author

Primljeno (Received): 3. 10. 2016.

Prihvaćeno (Accepted): 24. 10. 2016.

# An Overview of Forest Management in Austria

Valerie Findeis

## Abstract – Nacrtak

*Austrian forests and forest management have undergone great change during the past 500 years. From the 16<sup>th</sup> century on, the unregulated extraction of wood in order to cover the needs for energy in iron industry and saltworks as well as the increasing demand for firewood in the growing cities led to deforestation in great parts of the country. Since 1961, when the first forest inventory data of Austrian forests has been collected, the total forest area in the country has increased by 300,000 ha. Today, with an area of nearly 4 million ha, 47.6% of Austria is covered with forests. With a share of 61.2%, spruce is the most common tree species in Austrian forests. The vulnerability of these trees to climate change and the resulting damages by storms and bark beetles is currently leading to a change in the forest structure. The Austrian state forests are focused on more resistant but still fast-growing tree species like larch or Douglas fir.*

*Keywords: Austrian forest management, spruce, Austrian forests, forestry overview*

## 1. Introduction – Uvod

Austrian forests and forest management have undergone great change during the past 500 years. From the 16<sup>th</sup> century on, the unregulated extraction of wood in order to cover the needs for energy in iron industry and saltworks as well as the increasing demand for firewood in the growing cities led to deforestation in great parts of the country. In addition, litter use and forest pasture caused soil degradation and prevented regeneration. As a result, floods, avalanche disasters and mud slides occurred with increasing frequency. In the 18<sup>th</sup> century, the government finally started regulating the forest management to ensure sustainability in Austrian forests, and in 1852 the first Austrian forest law was established. From then on, the preservation of the four functions of forests have been part of Austrian law as well as the sustainability of forestry management (Johann 2013). According to Austrian forest law, clear cuttings of an area bigger than 2 ha are forbidden, and those of an area larger than 5000 m<sup>2</sup> require official permission. The law is primarily focused on the preservation of forests and forest soils and on providing sustainable forest management aimed at preserving production power and effects of forest soils (RIS 2016).

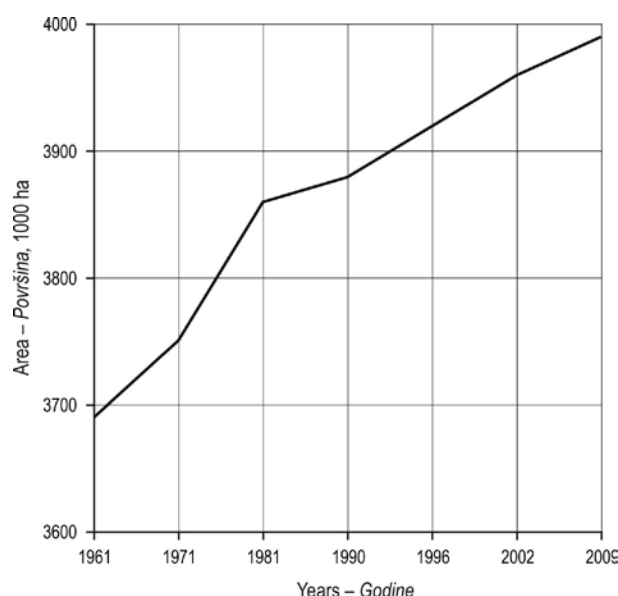
From 1961 on, data about Austrian forests have been collected periodically. In order to provide sustainability in forest management, knowledge of the amount of wood stock, forest area and growth is of major importance. The last inventory has been completed in 2009, the next will be published in 2018.

The aim of this paper is to give an overview of Austrian forestry and forest management.

## 2. Forest management in Austria *Gospodarenje šumama u Austriji*

Since 1961, when the first forest inventory data of Austrian forests has been collected, the total forest area in the country has increased by 300,000 ha. The increase of the forest area has been steady in the last 50 years, as shown in Fig. 1 below. Today, with an area of nearly 4 million ha, 47.6% of Austria is covered with forests. The main part of the new forest land is located on what used to be agricultural land (60%) and also extreme stands, such as slopes or rocky terrain, are turned into forests (Russ 2011).

Table 1 shows the proportion of different management types in 1996, 2002 and 2009, the last three forest inventories in Austria. 76.3% of forest land are pro-



**Fig. 1** Area of Austrian forests from 1961 to 2009

**Slika 1.** Površina austrijskih šuma od 1961. do 2009. godine

ductive forests used for wood production. As on steep terrain there is risk of avalanches and mud slides, 820,000 ha of Austrian forests are declared protective.

Forest land is divided in three categories of ownership: Private forests of an area smaller than 200 ha,

which makes more than half of the forests in Austria, private forests of an area larger than 200 ha and state forests. With less than 600,000 ha, only 15% of the total forest area are state forests. Table 2 shows that the proportion of these categories has been quite stable through the last ten years.

The majority of forests are high forests (97.7%), meaning that the growth is based on generative reproduction. Only 1.5% of the total forest area is registered as coppice, reproducing vegetatively. The mix of an upper class of generatively reproducing trees with a vegetatively reproducing lower class, so-called coppice-with standard forests, has become very rare in Austria (0.8%).

Not only the area of forests increased until 2009, but wood stock has increased from 988 million m<sup>3</sup> to 1.14 billion m<sup>3</sup> since 1996 (Table 3). Also the amount of harvested wood has increased from 71% to 85% (ÖWI 2010). However, in the last years logging has decreased again and the latest estimation of timber logging in 2015 shows an amount of only 17.55 million m<sup>3</sup> of timber (BMLFUW 2016). Data for wood stock and increment in 2015 was not available.

A great variety of landscapes in Austria, mainly structured by the Alps, causes a large variety of ecological communities. Therefore, Austria is divided into 22 growing areas, combined into 9 main growing areas. They are defined as areas with the same ecological

**Table 1** Development of different forest land categories in Austria from 1996 to 2009

**Tablica 1.** Nastajanje različitih vrsta šumske površine u Austriji od 1996. do 2009.

Forest Categories <i>Vrste šuma</i>	1996		2002		2009	
	ha	%	ha	%	ha	%
Protective forest (productive) – <i>Zaštitne šume (proizvodne)</i>	289,000	7.4	303,000	7.7	320,000	8.0
Protective forest (non-productive) – <i>Zaštitne šume (neproizvodne)</i>	467,000	11.9	474,000	12.0	500,000	12.5
Productive forest – <i>Gospodarske šume</i>	3,063,000	78.1	3,068,000	77.5	3,046,000	76.3
Unstocked areas (roads etc.) – <i>Neploidne površine</i>	101,000	2.6	115,000	2.8	125,000	3.2
Total forest land area – <i>Ukupne šumske površine</i>	3,920,000	46.8	3,960,000	47.2	3,991,000	47.6

**Table 2** Development of forest ownership categories from 1996 to 2009

**Tablica 2.** Vlasništvo nad šumama Republike Austrije od 1996. do 2009.

Ownership <i>Vlasništvo</i>	1996		2002		2009	
	ha	%	ha	%	ha	%
State forests – <i>Državne šume</i>	588,000	15.0	591,000	14.9	593,000	14.9
Private forests < 200 ha – <i>Privatne šume manje od 200 ha</i>	2,097,000	53.4	2,130,000	53.8	2,153,000	53.9
Private forests > 200 ha – <i>Privatne šume veće od 200 ha</i>	1,235,000	31.6	1,239,000	31.3	1,245,000	31.2



**Table 3** Amount of wood stock, increment and allowable cut in Austrian forests**Tablica 3.** Podaci o drvnoj zalihi, prirastu i etatu u austrijskim šumama

Data – Podaci	1996	2002	2009	2015
Wood stock, million m <sup>3</sup> Drvna zaliha, milijuni m <sup>3</sup>	988	1.095	1.135	–
Increment, million m <sup>3</sup> Prirast, milijuni m <sup>3</sup>	27.3	31.3	30.4	–
Removal, million m <sup>3</sup> Etat, milijuni m <sup>3</sup>	19.5	18.8	26.0	17.6

conditions, such as climate and geomorphology, and therefore show the same potential natural vegetation (Kilina et al. 1994). Due to the large share of mountains in the country's area, a great part of the forest area is located on steep terrain. As shown in Fig. 2, 25% of the forest area is located on a more than 60% slope. This made and still makes timber harvesting and transport difficult and requires modern and soil conserving technologies.

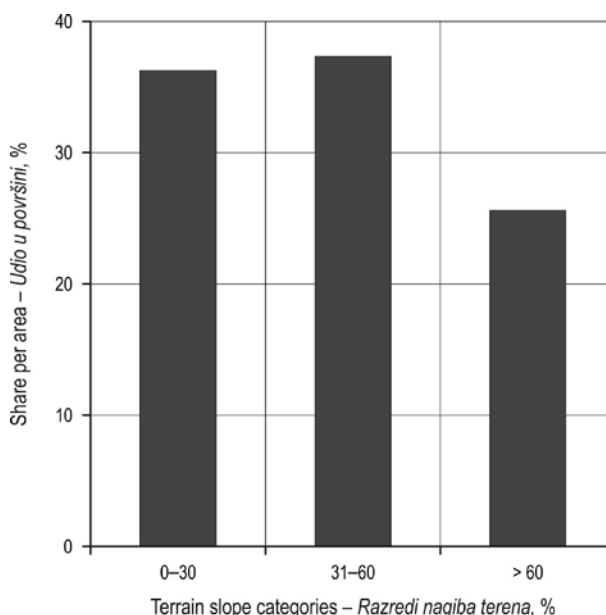
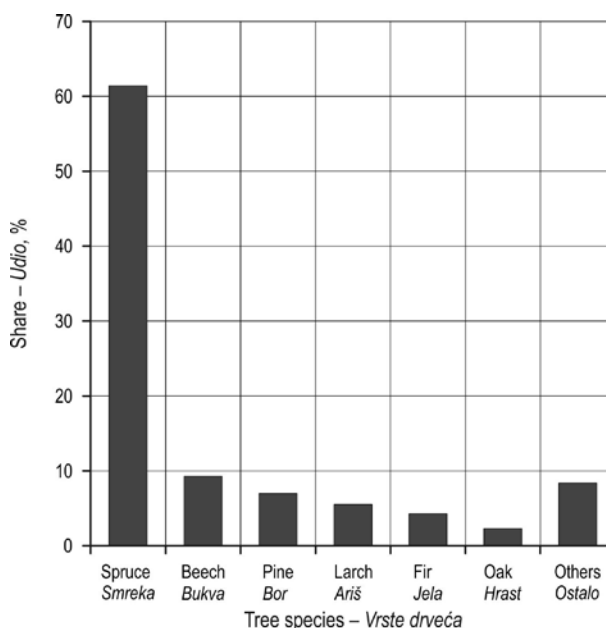
Fig. 3 shows the proportions of the most important tree species in Austria. With 61.2%, spruce makes the biggest part of all tree species in Austria, followed by beech with only 9.6%. The share of conifer trees as opposed to broadleaved is 80%.

Conifer forests are not only found in their original range in the mountains, but also in lower regions, where the natural forest community is a mix of beech and other broadleaved species. These forests, planted by humans because of faster growth, are called secondary conifer forests. Per definition they are forests with 80% share of conifers in what is originally broadleaved species-habitat. About 354,000 ha in Austria are secondary conifer forests. The problem of this structure is that the climate in lower regions is not ideal for spruce and other conifers, which leads to a greater risk of biotic and abiotic damage (Gschwanter and Prskawetz 2005).

As shown in Table 4, half of the forest stands are in the age classes 41 to 100. The share of even-aged for-

**Table 4** Age structure of Austrian forests**Tablica 4.** Dobni razredi stabala austrijskih šuma

Age – Dobni razredi	0–20	21–40	41–60	61–80	81–100	101–120	121–140	> 140	Snags – Pričuvci
1000 m <sup>3</sup>	9,832	132,552	208,485	186,308	186,672	154,706	88,288	114,000	53,936
%	0.9	11.7	18.4	16.4	16.5	13.6	7.8	10.0	4.8

**Fig. 2** Share of average terrain slopes in Austrian forests**Slika 2.** Udjeli nagiba terena u austrijskim šumama**Fig. 3** The most common tree species in Austria**Slika 3.** Najrasprostranjenije vrste drveća u Austriji

ests in Austria has continually decreased from 47% of the total forest area in 1996 to 39% in 2009. In comparison to the area of productive forests, even-aged forests account for 51% (ÖWI 2010, Gschwanter and Prskawetz 2012).

### 3. Harvesting operations in Austria *Pridobivanje drova u Austriji*

Estimated amount of logging in 2015 was 17.55 million m<sup>3</sup>, with a share of 83% of coniferous wood. The amount of logging in the last forest inventory was nearly 26 million m<sup>3</sup> and therefore much higher. As shown in Table 5, the greatest amount of harvested timber was coniferous wood, while broadleaved species had a share of only 16.3%. In 2002, the share of 15.4% of broadleaved harvested wood was even smaller.

Table 6 below shows the average amount of logging per year broken down by type of use and ownership for the period 2007 to 2009. While harvesting in the Austrian state forests accounted for only 13% of the total logging in 2009, harvesting of 14.3 million m<sup>3</sup> timber in small private forests accounted for 55.1%. These proportions strongly correspond to the propor-

tion of ownership areas (see Table 2). Private forests smaller than 200 ha had the biggest share of clear cuttings smaller than 500 m<sup>2</sup>, while the state forests showed the biggest focus on clear cuttings of an area bigger than 500 m<sup>2</sup>.

In 2015, the share of logging of the state forests (9.23%) was much smaller than the average from 2007 to 2009, while the share of timber in privately owned forests increased, as shown in Table 7. The amount of incidental use in 2015 was very high, accounting for 42.3% of the total harvested timber (see Table 8). Due to an unusually hot and dry summer in Austria, the forests had to cope with a large attack of bark beetles that profited of the weather conditions (Steyrer and Hoch 2015).

Due to the country's topography, as well as the big share of small privately owned forests, the main felling technology is the assortment method with chainsaw (about 60%). The estimated share of logging done with harvester is 20–25% (BFW 2012).

As the felling technology depends on the slope, the methods of skidding used in Austrian forests also depend on terrain type, as 25% of forests are located in steep terrain with more than 60% slope. Around 20% of total harvested timber is transported with cable systems, a method that is soil-saving. In less steep terrain, an increase of mechanized transport systems could be noticed in the past: while in 1993 the share of timber skidded with forwarder was around 6%, in 2003 it had increased to 15% (Umweltbundesamt 2004). Skidding with tractor and cable winch or trailer is especially popular in small forests owned by farmers (Seebacher 2014).

In order to protect soil and forest stand, forest roads are important for harvesting and timber transport. The last inventory of forest roads in 1996

**Table 5** Amount of harvested timber from 1996 to 2015

**Tablica 5.** Užiti drvni obujam u Austriji od 1996. do 2015. godine

Felling volume, 1000 m <sup>3</sup> <i>Užiti drvni obujam, 1000 m<sup>3</sup></i>	1996	2002	2009	2015
Conifers – <i>Četinjače</i>	16,132	15,902	21,657	~ 14,566
Broadleaves – <i>Listače</i>	3389	2895	4231	~ 2984
Total – <i>Ukupno</i>	19,521	18,797	25,888	~ 17,550

**Table 6** Amount of harvested timber by types of use and ownership (average from 2007 to 2009)

**Tablica 6.** Užiti drvni obujam u Austriji s obzirom na vrstu sječe i vlasništvo (prosječno od 2007. do 2009. godine)

Felling volume in 1000 m <sup>3</sup> <i>Užiti drvni obujam, 1000 m<sup>3</sup></i>	Clear cutting, area >500 m <sup>2</sup> <i>Čista sječa, površina &gt;500 m<sup>2</sup></i>		Clear cutting, area <500 m <sup>2</sup> <i>Čista sječa, površina &lt;500 m<sup>2</sup></i>		Thinning <i>Prorede</i>		Others <i>Ostalo</i>		Total <i>Ukupno</i>
	1000 m <sup>3</sup>	%	1000 m <sup>3</sup>	%	1000 m <sup>3</sup>	%	1000 m <sup>3</sup>	%	1000 m <sup>3</sup>
State forests – <i>Državne šume</i>	1639	46.2	271	7.6	203	5.7	1432	40.4	3545
Private forests <200 ha <i>Privatne šume manje od 200 ha</i>	4428	31.1	2760	19.4	1628	11.4	5439	38.2	14,255
Private forests >200 ha <i>Privatne šume veće od 200 ha</i>	2674	33.1	977	12.1	903	11.2	3534	43.7	8088
Total – <i>Ukupno</i>	8741	33.8	4008	15.5	2734	10.6	10,405	40.2	25,888

**Table 7** Amount of harvested timber in forests by ownership structure in 2015**Tablica 7.** *Užiti drvni obujam prema vlasničkoj strukturi šuma u 2015. godini*

Ownership structure <i>Vlasništvo</i>	Harvested timber, million m <sup>3</sup> <i>Užiti drvni obujam, milijuni m<sup>3</sup></i>	Share, % <i>Udio, %</i>
State forests – <i>Državne šume</i>	1.63	9.29
Private forests <200 ha <i>Privatne šume manje od 200 ha</i>	10.01	57.06
Private forests >200 ha <i>Privatne šume veće od 200 ha</i>	5.91	33.65
Total – <i>Ukupno</i>	17.55	100

**Table 8** Harvested timber by categories of use in 2015**Tablica 8.** *Užiti drvni obujam prema vrsti prihoda u 2015. godini*

Type of cut – <i>Vrsta prihoda</i>	Volume, million m <sup>3</sup> <i>Obujam, milijuni m<sup>3</sup></i>	Share, % <i>Udio, %</i>
Final cut – <i>Glavni prihod</i>	5.1	29.09
Thinning and other cut – <i>Prethodni prihod</i>	5.02	28.61
Unregulated cut – <i>Izvanredni prihod</i>	7.43	42.3
Total – <i>Ukupno</i>	17.55	100

showed an average road density of 45 m/ha for truck-suited roads in Austrian forests (Table 9). The total length of forest roads, including public roads in forests, was 150,300 km. The average length of newly

built forest roads per year was 2160 km (ÖWI 2010). Compared to the last inventory of forest roads in 1990, the amount of newly built roads had decreased (Umweltbundesamt 2004). Not paved logging trails that are often temporary showed a density of 44 m/ha and a length of 147,000 km. Opening density in protective forests was significantly lower than in productive forests.

Regarding the different categories of ownership, as shown in Table 8, the average road density in privately owned forests smaller than 200 ha with 49.1 m/ha, as well as of logging trails with 59.4 m/ha, is significantly higher than in other forests. The state forests showed the lowest road length (14,800 km) and density (33.7 m/ha).

More than half of the Austrian forest area is divided into small properties. Around 40% of private owners of forest land smaller than 200 ha come from an agricultural background or are part time farmers (Hogl et al. 2003). The biggest forest owner is the republic of Austria together with the Austrian state forests, that were outsourced as stock corporation in 1997 and own 511,000 ha of forest land. The second biggest property of forest land belongs to the city of Vienna, the capital of the country. The main part (69%) of the 28,000 ha are a spring protection area providing the city's drinking water. Following this, the forest business Franz Mayr-Melnhof-Saurau consists of 27,400 ha and is also developing and constructing cable crane systems. Around 11,200 ha of Austrian forest land belong to the Bavarian state forests in Germany (proHolz Austria 2016).

**Table 9** Road density and total length of primary and secondary road network in Austrian forests**Tablica 9.** *Duljina i gustoća primarne i sekundarne mreže šumskih prometnica u Austriji*

Network type <i>Vrsta mreže</i>	Forest type – <i>Vrsta šume</i>		Total length, km <i>Ukupna duljina, km</i>	Density, m/ha <i>Gustoća prometnica, m/ha</i>
Secondary forest traffic infrastructure <i>Mreža sekundarnih šumskih prometnica</i>	High forest <i>Visoke šume</i>	Productive forest – <i>Gospodarske šume</i>	138,100	46.5
		Protective productive forest – <i>Zaštitne proizvodne šume</i>	1000	3.5
		Total – <i>Ukupno</i>	139,100	42.7
	Coppice – <i>Panjače</i>		7900	83.9
	Total – <i>Ukupno</i>		147,000	44.0
Primary forest traffic infrastructure <i>Mreža primarnih šumskih prometnica</i>	High forest <i>Visoke šume</i>	Productive forest – <i>Gospodarske šume</i>	142,700	48.1
		Protective productive forest – <i>Zaštitne proizvodne šume</i>	2900	9.9
		Total – <i>Ukupno</i>	145,600	44.7
	Coppice – <i>Panjače</i>		4800	50.8
	Total – <i>Ukupno</i>		150,400	45.0

**Table 10** Density of primary and secondary forest roads and total road length in different types of ownership**Tablica 10.** Duljina i gustoća primarne i sekundarne mreže šumskih prometnica s obzirom na vlasništvo

Ownership category <i>Vlasništvo</i>	Primary forest traffic infrastructure <i>Mreža primarnih šumskih prometnica</i>		Secondary forest traffic infrastructure <i>Mreža sekundarnih šumskih prometnica</i>	
	Total length, km <i>Ukupna duljina, km</i>	Road density, m/ha <i>Gustoća prometnica, m/ha</i>	Total length, km <i>Ukupna duljina, km</i>	Road density, m/ha <i>Gustoća prometnica, m/ha</i>
State forests <i>Državne šume</i>	14,800	33.7	8,000	18.1
Private forests <200 ha <i>Privatne šume manje od 200 ha</i>	92,600	49.1	112,000	59.4
Private forests >200 ha <i>Privatne šume veće od 200 ha</i>	42,900	41.8	2,400	27.6
Total <i>Ukupno</i>	150,300	45.0	122,400	44.0

#### 4. Final remarks – Završna razmatranja

The Austrian forest area has increased from 3.7 million ha in 1961 up to nearly 4 million ha, that is 47.6% of the country's total area. The special structure of ownership in Austrian forests with a big share of small properties owned by farmers has great influence on forest management. Small scale planning of forest roads leads to a higher road density in these forest stands. Also harvesting technology depends on the size of the business, as large investments in fully mechanized technologies are often not profitable with the small amount of timber extracted in those forests. In 2015, 42.3% of the total logging were registered as fallen timber.

Spruce is the most common tree species in Austrian forests with a share of 61.2%. The vulnerability of these trees to climate change and the resulting damages by storms and bark beetles is currently leading to a change in the forest structure: The Austrian state forests are more and more focused on more resistant but still fast-growing tree species like larch or Douglas fir (Öbf 2015).

#### 5. References – Literatura

BFW, 2016: Bundesforschungszentrum für Wald, 2012, Hoch- und vollmechanisierte Holzernte. Available at: [http://bfw.ac.at/ort1/Vortraege\\_als\\_pdf/Vortraege\\_Neueinsteiger/Hochmechanisierte\\_Holzernte.pdf](http://bfw.ac.at/ort1/Vortraege_als_pdf/Vortraege_Neueinsteiger/Hochmechanisierte_Holzernte.pdf) (Accessed on 23/05/2016).

BMLFUW, 2016: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Holzeinschlagsmeldung über das Kalenderjahr 2015. Available at: <https://www.bmlfuw.gv.at/forst/wald-gesellschaft/jahr-des-waldes->

[rueckblick/schwerp-wirtschaftsfaktor/hem.html](http://rueckblick/schwerp-wirtschaftsfaktor/hem.html) (Accessed on 23/05/2016).

Gschwantner, T., Prskawetz, M., 2005: BFW Praxisinformation Nr. 6, Sekundäre Nadelwälder in Österreich. Available at: [http://bfw.ac.at/040/pdf/1818\\_pi6.pdf](http://bfw.ac.at/040/pdf/1818_pi6.pdf) (Accessed on 22/05/2016).

Gschwantner, T., Prskawetz, M., 2012: Wie unterscheidet sich Altersklassenwald vom übrigen Ertragswald? Available at: [http://www.waldwissen.net/technik/inventur/bfw\\_alterklassen2\\_oewi/index\\_DE](http://www.waldwissen.net/technik/inventur/bfw_alterklassen2_oewi/index_DE) (Accessed on 23/05/2016).

Hogl, K., Pregernig, M., Weiß, G., 2003: Österreichische Forstzeitung 6, 28–29, Wer sind Österreichs Waldeigentümer? Available at: [http://www.waldwissen.net/wald-wirtschaft/fuehrung/unternehmen/bfw\\_oe\\_waldeigentuemer/index\\_DE](http://www.waldwissen.net/wald-wirtschaft/fuehrung/unternehmen/bfw_oe_waldeigentuemer/index_DE) (Accessed on 23/05/2016).

Johann, E., 2013: Zuschnitt 51: Der Wald, 160 Jahre österreichisches Forstgesetz. Available at: <http://www.proholz.at/zuschnitt/51/160-jahre-oesterreichisches-forstgesetz/> (Accessed on 18/05/2016).

Kilian, W., Müller, F., Starlinger, F., 1994: Forstliche Bundesversuchsanstalt, Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. Available at: <http://bfw.ac.at/300/pdf/1027.pdf> (Accessed on 22/05/2016).

Nemestothy, N., 2014: BFW-Praxisinformation. Kosten und Nutzen einer zeitgerechten Durchforstung, Wien. Available at: <http://www.fastort.at/index.php/fachbereich-forsttechnik/aktuelle-taetigkeiten/pruef-und-versuchswesen/124-kostenkalkulationen-von-durchforstungen> (Accessed on 23/05/2016).

Öbf, 2015: Österreichische Bundesforste. Pressemitteilung, available at: <http://www.bundesforste.at/service-presse/presse/pressedetail/news/bundesforste-wald-jahr-mit-durchwachsener-bilanz.html> (Accessed on 23/05/2016).



ÖWI, 2010: Österreichische Waldinventur, Bundesforschungszentrum für Wald. Available at: <http://bfw.ac.at/rz/wi.home> (Accessed on 23/05/2016).

ProHolz Austria, 2016: Wald in Zahlen. Available at: <http://www.proholz.at/wald-holz/wald-in-zahlen/> (Accessed on 22/05/2016).

RIS Rechtsinformationssystem des Bundeskanzleramts, 2016: Gesamte Rechtsvorschrift für Forstgesetz 1975. Available at: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10010371> (Accessed on 23/05/2016).

Russ, W., 2011: BFW-Praxisinformation 24: 3–5, Mehr Wald in Österreich. Available at: <http://www.waldwissen.net/tech->

[nik/inventur/bfw\\_oewi07\\_flaeche/index\\_DE](http://www.waldwissen.net/tech-nik/inventur/bfw_oewi07_flaeche/index_DE) (Accessed on 23/05/2016).

Seebacher, D., 2014: BauernZeitung, Rückung mit Winde und Krananhänger. Available at: <http://www.bauernzeitung.at/?id=2500,1053123> (Accessed on 23/05/2016).

Steyrer, G., Hoch, G., 2015: Pressemitteilung des Bundesforschungszentrums für Wald, Wien. Available at: [http://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/schaden/insekten/bfw\\_borkenkaefer\\_2015/index\\_DE](http://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/schaden/insekten/bfw_borkenkaefer_2015/index_DE) (Accessed on 24/9/2015).

Umweltbundesamt, 2004: Siebenter Umweltkontrollbericht-3.2 Forstwirtschaft und Jagd. Available at: [http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltkontrolle/2004/0302\\_forstwirtschaft.pdf](http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltkontrolle/2004/0302_forstwirtschaft.pdf) (Accessed on 25/9/2015).

## Sažetak

### *Pregled gospodarenja šumama u Republici Austriji*

Austrijsko je šumarstvo doživjelo velike promjene u posljednjih petsto godina. U početku se drvo pridobivalo brojnim neorganiziranim sječama šuma za potrebe industrije željeza i solana kada su mnoga šumska područja ogoljena i šume izgubljene, dok se danas površina šuma iz godine u godinu povećava. Od šezdesetih godina 20. stoljeća, kada je napravljena prva inventura šuma, pa sve do danas šumska se površina u Republici Austriji povećavala za 300 000 hektara. Danas austrijske šume zauzimaju gotovo četiri milijuna hektara, odnosno 47,6 % države je pod šumom. Najrasprostranjenija je smreka s udjelom od 61,2 %. Prema podacima iz 2009. godine državnim šumama pripada tek 14,9 % udjela u ukupnoj šumskoj površini, dok su ostalo privatne šume koje se prema veličini površine mogu podijeliti na one veće od 200 hektara (udio od 31,2 %) i one manje od 200 hektara (udio od 53,9 %). Drvna zaliha tijekom godina raste, pa je tako od 1996. godine s 988 milijuna m<sup>3</sup> danas porasla na 1,14 milijuna m<sup>3</sup> drva. S obzirom na to da se 25 % šuma nalazi na terenima strmih nagiba (većih od 60 %), oko 20 % posječenoga drva privlači se šumskim žičarama. Užita je drvna zaliha 2015. godine iznosila 17,55 milijuna m<sup>3</sup> s udjelom crnogorice od 83 %.

Ključne riječi: gospodarenje šumama u Republici Austriji, smreka, austrijske šume, pregled gospodarenja šumama

Author address – Adresa autora:

Valerie Findeis  
e-adresa: [vallifindeis@hotmail.com](mailto:vallifindeis@hotmail.com)  
Beethovengasse 1  
1090 Vienna  
AUSTRIA

Received (Primljeno): September 15, 2016.

Accepted (Prihvaćeno): October 2, 2016.



# Izračun profitabilnosti i optimizacija kogeneracijskoga postrojenja korištenjem drvene sječke

Stjepan Posavec, Željko Zečić, Karlo Beljan, Nenad Šimunović

## Nacrtak – Abstract

*Primjena biomase u energetici za šumarstvo je jedinstvena prilika. Ono ne samo da osigurava cijenu i tržište za proizvod koji se smatra tehnički najlošijim (prostorno drvo), već omogućuje i znatno učinkovitije iskorištavanje i intenzivnije njegovanje šuma. Razni radovi na njezi šuma, kao što su čišćenje i prve prorede, te uzgojni radovi u degradiranim sastojinama mogli bi postati isplativi s obzirom na to da postoji lokalno tržište i stalna, dugoročna potražnja za drvnom biomasom. Također, sadnja brzorastućih kultura i njihovo uspostavljanje na neobraslom šumskom zemljištu moglo bi povećati atraktivnost ulaganja u šumarstvo jer su stopa i razdoblje povrata puno kraći nego u klasičnom šumarstvu. U radu je korišten programski paket razvijen u tvrtki Lega d.o.o. kako bi se obavio optimizacijski izračun za dva tipa kogeneracijskih postrojenja »Combined Heat and Power« (CHP) i »Organic Rankine Cycle« (ORC), te je izvedena poredbena raščlamba rezultata optimizacijskoga izračuna. Prilikom donošenja odluke o ulaganju u dugoročne investicijske projekte provodi se ocjena financijske učinkovitosti ulaganja, odnosno budžetiranje kapitala. Površina koja zadovoljava godišnje potrebe postrojena izračunata je na temelju godišnjega prinosa kulture, godišnjih potreba za sječkom, duljine ophodnje, ogrjeвне vrijednosti sječke i ogrjeвне vrijednosti vrbe uzgojene u kulturama kratke ophodnje.*

*Ključne riječi: biomasa, proizvodnja energije, isplativost, kogeneracija, budžetiranje kapitala*

## 1. Uvod i problematika – Introduction and problem statement

Nepredvidivost kretanja cijena energenata, ovisnost o uvozu i posljedice klimatskih promjena dovode obnovljive izvore energije i energetska neovisnost u središte nacionalnih energetske strategije. Republika Hrvatska trenutno uvozi preko 50 % svojih energijskih potreba. U hrvatskoj bilanci potrošnje primarne energije nafta i naftni derivati sudjeluju s oko 50 %, a prirodni plin s oko 25 %. Udio uvoza u potpunom zadovoljavanju energetske potreba dodatno će rasti u budućnosti jer će domaća proizvodnja nafte i prirodnoga plina opadati zbog iscrpljenja ležišta (NN 152/08). Drugi je značajni izazov pred kojim se nalazi energetski sektor smanjenje emisija stakleničkih plinova. Ratifikacijom Protokola iz Kyota 2007. godine i prihvaćanjem Sporazuma iz Dohe 2012. godine Republika Hrvatska preuzela je ove obveze:

- ⇒ udio od 20 % obnovljivih izvora energije u bruto neposrednoj potrošnji energije do 2020. godine, uključujući i velike hidroelektrane
- ⇒ 10 % udjela obnovljivih izvora energije u svim oblicima prijevoza
- ⇒ 35 % udjela obnovljivih izvora energije u proizvodnji električne energije, uključujući i velike hidroelektrane do 2020. godine
- ⇒ smanjenje neposredne potrošnje energije za 10 % do 2020. godine u odnosu na prosječnu potrošnju u razdoblju od 2001. do 2005.
- ⇒ smanjenje emisija stakleničkih plinova za 20 % u odnosu na razdoblje od 2001. do 2005.

Istraživanja UNDP-a (Program Ujedinjenih naroda za razvoj) pokazuju da bi se u Republici Hrvatskoj do 2020. godine uporabom biomase moglo osigurati približno 5,5 tisuća izravnih »zelenih« radnih mjesta (broj zaposlenih u proizvodnji opreme i održavanju

postrojenja) te još dodatnih 55 tisuća neizravnih »zele-nih« radnih mjesta u pratećim djelatnostima i indu-striji (UNDP 2013, Dundović 2011). Tako bi intenzivna primjena biomase u energetici pridonijela rješavanju većine problema energetskega sektora, ali i istodobno razvoju tehnologije, industrije, poljoprivrede i šumar-stva, rastu broja zaposlenih, razvoju konkurentnosti i regionalnomu razvitku. Pojam biomasa razumijeva širok raspon organskoga materijala i definira se kao »biorazgradiv dio proizvoda, otpada i ostataka biološkoga podrijetla iz poljoprivrede (uključujući tvari bilj-noga i životinjskoga podrijetla), šumarstva i s njima povezanih proizvodnih djelatnosti uključujući ribarstvo i akvakulturu te biorazgradiv udio industrijskoga i komunalnoga otpada« (Europski parlament i vijeće 2009). Na razini Europske unije biomasa je najvažniji obnovljivi izvor energije, te bi njezin udio u primarnoj energetskoj proizvodnji trebao porasti s 15 % na 22 % do 2050. godine. U tom slučaju biomasa bi uz nuklear-nu energiju i sve ostale obnovljive izvore trebala biti treći najveći izvor primarne energije u Europskoj uniji (Europska komisija 2013). U Republici Hrvatskoj predviđa se uporaba 26 PJ (petadžul) iz biomase do 2020. godine. Dio te biomase trebao bi se upotrebljavati u elektranama na biomasu ukupne snage oko 85 MW (Ministarstvo gospodarstva 2013). Također, kruta bio-masa koja obuhvaća drvenu biomasu i biomasu iz pol-joprivrede trebala bi činiti 64,5 % energije iz obnovljivih izvora koja će se koristiti za grijanje i hlađenje. Domic i dr. (2001) predviđaju da bi se iz biomase i otpada do 2020. moglo osigurati približno 15 % ukupne primarne potrošnje energije u Republici Hrvatskoj.

Drvena se biomasa može razvrstati na niz tipova, no za potrebe ovoga rada pažnja će se posvetiti isključivo drvnoj biomasu. Pod pojmom drvena biomasa razumi-jeva se obujam stabla ili sastojine koji se ne može koris-titi za proizvodnju tehničkih sortimenata ili u industrijskoj preradi te se zato koristi za dobivanje energije. Stoga taj pojam obuhvaća ogrjevno drvo, granjevinu i sitno drvo (drvo čiji je promjer manje od 7 cm na de-bljem kraju), otpad nastao prilikom sječe, otpad i os-tatke nastale prilikom prerade drva u drvnoj indu-striji, ali i drvo iz degradiranih ili opožarenih sastojina. Ipak, glavni izazov uporabe biomase nije toliko u njezinoj raspoloživosti, koliko u održivom gospo-darenju šumama. Također, ključno je osigurati kvalitet-nu pretvorbu biomase i isporuku na tržište u obliku kvalitetnoga i modernoga proizvoda koji će zadovolja-vati sve tehničke i kvalitativne zahtjeve kupca.

Kogeneracija je naziv za tehnologiju istodobne proizvodnja električne i toplinske energije u jedinst-venom procesu (NN 130/09). Prednosti su kogeneracijskih sustava, u odnosu na elektrane i toplane (sustave

odvojene opskrbe), značajno manji gubici koji nastaju prilikom zasebne proizvodnje toplinske ili električne energije. Za istu količinu primarne energije (fosilnoga goriva, biomase ili drugoga primarnoga izvora) kogene-racijsko postrojenje isporučit će u nekim slučajevima i do 40 % više električne i toplinske energije nego sustav s odvojenom opskrbom (Lončar i dr. 2009). Zakonom o energiji (NN 102/15) Republika Hrvatska proglasila je kogeneracijska postrojenja objektima od interesa za Republiku Hrvatsku. Korištenje se kogeneracija stimu-lira do 2020. godine te se predviđa izgradnja kogene-racijskih jedinica ukupne snage u protutlačnom radu od barem 300 MW, od čega bi 100 MW bilo instalirano u obliku mirkokogeneracija i malih kogeneracijskih jedinica. Veći dio te snage odnosi se na industrijske kogeneracijske jedinice, a manji na kogeneracijske je-dinice u centraliziranim toplinskim sustavima (Mini-starstvo gospodarstva 2013). Primjena kogeneracijskih postrojenja u industriji može značajno pridonijeti smanjenju potrošnje primarne energije na nacionalnoj razini jer industrija sudjeluje u neposrednoj potrošnji s preko 20 % (NN 152/08). Industrijski sektor ostvaruje korist izbjegavanjem dviju glavnih neizvjesnosti: kre-tanje cijene nafte i ostalih energenata. Na nacionalnoj se razini puno očekuje od primjene kogeneracije i u proizvodnji električne energije. Do kraja 2020. godine najmanji udio električne energije proizveden iz kogene-racijskih postrojenja u ukupnoj neposrednoj potrošnji električne energije trebao bi biti 4 %. Osim u proizvo-dnji električne energije očekuje se da će kogeneracijska postrojenja značajno pridonijeti podizanju učinkovitosti u proizvodnji energije za grijanje i hlađenje. Značenje je toga sektora veliko jer udjelom od 8,2 % uvelike pri-donosi planiranomu ukupnomu smanjenju potrošnje od 20 % (Ministarstvo gospodarstva 2013). Glavni in-strument kojim se stimulira primjena kogeneracija jest uvođenje posebnoga tarifnoga sustava kojim se određuje povlaštena cijena električne energije proizve-dene iz obnovljivih izvora u kogeneracijskim postro-jenjima (NN 133/13). Također, investicijska klima za izgradnju kogeneracijskih jedinica pokušava se stvor-iti razvojem konkurencije na tržištu električne energije i uspostavom sheme trgovanja emisijskim jedinicama. U slučaju viših cijena emisijskih jedinica CO<sub>2</sub> i visokih cijena fosilnih goriva do izražaja će doći znatno povo-ljnija proizvodnja električne energije u kogeneracijskoj jedinici u odnosu na proizvodnju električne energije u termoelektrani (NN 130/09).

### 1.1 Budžetiranje kapitala šumarske tvrtke *Capital budgeting in a forest company*

Glavni je cilj svake tvrtke ili dioničkoga društva maksimizacija njegove vrijednosti, odnosno maksimi-



zacija vrijednosti dioničara društva ili vlasnika tvrtke (Birgham i Davis 2013). Posljedično, jedan od glavnih zadataka menadžera je odabir kvalitetnih investicija koje će ostvariti odgovarajuću stopu povrata te tako povećati vrijednost tvrtke i ostvarivanje razvojnih ciljeva (Brealy i dr. 2011). Pojam investicija uobičajeno opisuje ulaganje materijalnih ili nematerijalnih vrijednosti (poput znanja) u sadašnjosti radi ostvarivanja pozitivnih učinaka u budućnosti. Iz opisa je vidljivo da je glavno obilježje investiranja odgođeno uživanje koristi s obzirom na to da uloženi kapital donosi korist tek nakon određenoga razdoblja. Prilikom donošenja odluke o ulaganju u dugoročne investicijske projekte provodi se ocjena financijske učinkovitosti ulaganja, odnosno budžetiranje kapitala. Postupak budžetiranja kapitala obuhvaća pronalaženje investicijskih prilika, prognozu novčanih tokova projekta i ocjenu njihove financijske učinkovitosti primjenom kriterija financijskoga odlučivanja. Osnovne su značajke budžetiranja kapitala: koncept novčanih tokova, diskontna stopa kao oportunitetni trošak ulaganja tvrtke, rizik i neizvjesnost te vremenska vrijednost novca (Orsag i Dedi 2011). Prilikom donošenja odluke o investiciji investitor se koristi metodama financijskoga odlučivanja. Primjenom metoda dobivaju se odgovarajući rezultati koji se uspoređuju s kriterijima postavljenim pred projekt (npr. željena stopa povrata). Odluka o investiciji donosi se na temelju usporedbe vrijednosti dobivenih pokazatelja i postavljenih kriterija. Tablica 2 prikazuje podjelu metoda financijskoga odlučivanja (Orsag i Dedi 2011).

U sklopu investicijske studije često se provode tehničko-tehnološke i tehničko-ekonomske analize. Tehničko-tehnološka analiza prikazuje osnovne dijelove proizvodnoga procesa, daje prikaz mogućih tehnoloških rješenja i njihovih značajki. Cilj je identificirati tehnološki proces koji će se primjenjivati u investicijskom projektu, odnosno odabrati tehnologiju koja će ostvarivati kapacitet u skladu s planom uz najmanje troškove. Glavni rizici povezani s procjenom financijske učinkovitosti investicijskih projekata vezani su uz budućnost i neizvjesnost koju ona donosi. Primjena matematičkih modela jedan je od načina na koji se pokušava umanjiti neizvjesnost planiranja budućega poslovanja, predvidjeti vrijednost ekonomskih ili tehničkih pokazatelja u promijenjenim uvjetima, odabrati optimalne tehničke procese te provesti racionalizaciju troškova proizvodnje putem optimizacije rada.

Cilj je ovoga rada analizirati dva tipa kogeneracijskih postrojenja (*CHP* i *ORC*). Analiza se odnosi na usporedbu troškova proizvodnoga procesa i vrijednosti proizvedene energije. Također, prikazana je

potrebna površina zemljišta za proizvodnju drvne biomase koja bi služila kao pogonsko gorivo kogeneracijskomu postrojenju.

## 2. Materijal i metoda rada – *Materials and methods*

Suvremeni su optimizacijski programi »vjerne kopije realnog poslovnog sustava namijenjene potpori pri donošenju poslovnih odluka« (Medarac 2013). Radi se o programskim paketima koji sadrže matematičke opise (modele) svih elemenata postrojenja i sve odnose potrebne za termodinamički proračun komponenata postrojenja. Na taj način programski paket može simulirati čitavo postrojenje i njegov rad u bilo kojim zadanim uvjetima (Bogdan i dr. 2002). Jezgru programskoga paketa čini optimizacijski algoritam koji, ovisno o zadanim tržišnim uvjetima, određuje plan angažiranja raspoloživih izvora radi postizanja najmanjega troška proizvodnje. Značenje primjene računalnih programa kao podrške pri odlučivanju i planiranju poslovnih odluka za kogeneracijska je postrojenja veliko, a dinamika isporuke toplinske energije ne podliježe zakonima tržišta na isti način koji vrijedi za električnu energiju (Bogdan i dr. 2001). U radu je korišten programski paket razvijen u tvrtki Lega d.o.o. kako bi se obavio optimizacijski izračun za dva tipa kogeneracijskih postrojenja i poredbeni raščlamba rezultata optimizacijskoga izračuna. Odabir tehnologija koje se mogu primjenjivati u kogeneracijskim postrojenjima na biomasu odrađen je na temelju pregleda stručne literature. Konačni izbor značajki (konfiguracije) istraživanih kogeneracijskih postrojenja obavljen je na temelju dvaju kriterija:

- ⇒ raspona primjene tehnologije
- ⇒ ekonomske zrelosti tehnologije.

Uporabom programskoga paketa simuliran je rad dvaju različitih tipova kogeneracijskoga postrojenja te primjenom ekonomskih funkcija određena maksimizacija dobiti. Optimizacijski izračun koristi se za postrojenja izlazne električne snage 1 MW<sub>e</sub>, dok se izlazna toplinska snaga namijenjena prodaji mijenja u rasponu od 1 do 6 MW<sub>t</sub>. Kao izlazni parametri optimizacijskoga izračuna dobivaju se tehnički i ekonomski pokazatelji rada za navedene uvjete. Na temelju ekonomskih pokazatelja rada postrojenja provedena je poredbeni raščlamba i odabrana ona konfiguracija postrojenja i režim rada koji generira najveću dobit uz istodobno zadovoljavanje uvjeta (ograničenja) scenarija.

Iznos godišnjih potreba postrojenja za drvnom biomasom, koji se dobije kao jedan od tehničkih parametara optimizacijskoga izračuna, poslužit će za izračun

veličine površine koja zadovoljava godišnje potrebe odabranoga postrojenja za biomasom prema Sučiću (2008). Drvna biomasa koja se iskorištava u bioenergetskim postrojenjima pridobiva se iz šumskih sastojina ili kultura kratkih ophodnji, stoga će se potrebna veličina površine izračunati za oba slučaja. Količina šumske biomase koja se može pridobiti iz šumske sastojine ovisi o nizu sastojinskih čimbenika (razmjer dobnih razreda, strukturi vlasništva, dominantnoj vrsti, uzgojnom obliku i sl.). Za slučaj kad se postrojenje opskrbljuje iz kulture kratkih ophodnji uzet će se podaci o prinosu kultura kratkih ophodnji korišteni u sklopu projekta BEE (Kajba i dr. 2010). Ako se postrojenje opskrbljuje sječkom iz kulture kratke ophodnje, izračun se izvodi na temelju podataka o prinosu kultura kratkih ophodnji uporabljenih u projektu BEE. U sklopu projekta utvrđeno je da se prinos vrbovih kultura kratkih ophodnji u istočnoj Hrvatskoj kreće u rasponu od 8 do 22 t DM/ha. Visina prinosa ovisi o tipu tla i o primjeni agrotehničkih mjera tijekom uzgoja kulture (Kajba i dr. 2010). Za izračun površine kulture koja zadovoljava godišnje potrebe postrojenja i ukupne površine kulture koristit će se prinos od 12 t DM/ha/god. (»DM – masa suhe drvne tvari«) jer se uzgoj kultura kratke ophodnje preporučuje isključivo na šumskom zemljištu i niskoproduktivnim (marginalnim) poljoprivrednim tlima kako bi se izbjegao sukob između korištenja zemljišta za proizvodnju goriva umjesto za proizvodnju hrane. Također, relativno je niski prinos odabran za plansku veličinu jer primjena agrotehničkih mjera dovodi do značajnoga porasta troškova (Kajba i dr. 2010).

## 2.1 Izbor konfiguracije i optimizacija analiziranih postrojenja – *The selection of configuration and optimization of analyzed plants*

U sklopu rada provodi se optimizacija i poredbeni raščlamba dvaju tipova kogeneracijskoga postrojenja. Prije pristupanja optimizaciji i analizi izlaznih pokazatelja potrebno je definirati konfiguraciju postrojenja. Odabir glavnih značajki kogeneracijskih postrojenja: tehnologije primarne pretvorbe biomase i tehnološkoga procesa, proveden je na temelju pregleda stručne literature (Lončar i dr. 2009). Ekonomska zrelost i raspon primjene tehnologije predstavljaju kriterije na temelju kojih je napravljen izbor. Kao objekt istraživanja određena su:

- ⇒ kogeneracijsko postrojenje s izravnim izgaranjem biomase na rešetki u parnom ciklusu (CHP)
- ⇒ kogeneracijsko postrojenje s izravnim izgaranjem biomase na rešetki u organskom Rankinovu ciklusu (ORC).

Izravno izgaranje biomase na rešetki izabrano je kao primarna tehnologija pretvorbe biomase u oba postrojenja jer je tehnologija izravnoga izgaranja krute biomase dominantna tehnologija u kogeneracijskoj proizvodnji električne i toplinske energije iz biomase, dok se od tehnologije rasplinjavanja biomase značajniji doprinos očekuje tek u budućnosti (Lončar i dr. 2009). Ložišta s izgaranjem biomase na rešetki, za razliku od ložišta s izgaranjem u mjehuričastom sloju, pogodnija su za primjenu u postrojenjima manje toplinske snage (<10 MW<sub>t</sub>) te predstavljaju razvijenu, tržišno zrelu i dugo vremena standardnu tehnologiju izgaranja biomase koja se nalazi u ponudi većine proizvođača energetske opreme. Druga je bitna značajka za konfiguriranje kogeneracijskoga postrojenja izbor implementiranoga tehnološkoga procesa. Konfiguracija u ORC-u karakteristična je za postrojenja niže i niže srednje snage, a konfiguracija u ciklusu CHP za postrojenja srednje i više srednje snage.

Matematičko programiranje ili optimizacija naziv je za granu matematike koja proučava maksimizaciju ili minimizaciju određene funkcije. Postupkom optimizacije traži se najpovoljnije rješenje određenoga problema s obzirom na određeni kriterij ili skup ograničenja (Čerić 2004). Metode matematičkoga programiranja primjenjuju se također i za određivanje optimalnoga pogonskoga režima kogeneracijskih postrojenja. Određivanje optimalnoga pogonskoga režima kompleksan je problem zbog brojnosti i međuovisnosti tržišnih čimbenika (varijabilne cijene goriva, promjene otkupne cijene električne i toplinske energije, zahtjevi za brzim izmjenama opterećenja, uvođenje emisijskih poreza), stoga se za njegovo određivanje primjenjuju specijalizirani računalni programi. Za provođenje optimizacijskoga izračuna potrebno je definirati cilj optimizacije te uvjete i polazne parametre pomoću kojih se definira scenarij i postavlja okvir rada postrojenja. Glavna je svrha postupka optimizacije smanjivanje troškova proizvodnje za opisani scenarij. Kao izlazi iz modela, odnosno kao rezultat optimizacijskoga izračuna, dobiveni su tehnički i ekonomski parametri postrojenja za zadani scenarij.

## 2.2 Polazni parametri optimizacijskoga izračuna *Input parameters for optimization calculation*

Polazni su parametri osnovni ulaz u matematički model pomoću kojega se izračunavaju sve ostale ulazne veličine korištene u daljnjem radu matematičkoga modela. Tablica 1 prikazuje ulazne parametre korištene u ovom radu. Veličine su ulaznih parametara određene na temelju stručnoga mišljenja i postavljenoga modela tvrtke Lega d.o.o. Prinos kulture izražen je u tonama suhe tvari koja ima veću ogrjevnju vrijednost

od vrbova drva s udjelom vlage od 22 % (Francescato i dr. 2008), stoga će se prinos suhe tvari preračunati u prinos vrbove biomase s udjelom vlage 22 %. Najveći utjecaj na ogrjevnu vrijednost biomase ima sadržaj vlage te udio pepela u biomasi. Zbog toga je osnovni cilj zadržati što manju vlažnost sirove šumske biomase koja se koristi u energetskim postrojenjima kao pogonsko gorivo. Tako se vlažnost u velikim postrojenjima nastoji zadržati ispod 50 %, dok se kod malih postrojenja nastoji zadržati do 40 % (Kallio i Leinonen 2005). Prema rezultatima projekta BIOEN uskladišteno iverje ima mokrinu W od 20 do 30 % (Domac i dr. 2001).

**Tablica 1.** Polazni parametri optimizacijskoga izračuna

**Table 1** Input parameters in optimization calculation

Parametri – Parameters	Jed. mjere Unit measure	Vrijednost Value
Sastav drvne sječke – Structure of wood chips	%	100
Hrast – Oak	%	38
Bukva – Beech	%	34
Grab – Hornbeam	%	9
Joha – Alder	%	19
Udio vlage u sječki – Moisture share in chips	%	22*
Toplinska vrijednost – Thermal value	MJ/t	13,92
Udio ind. ostatka – Share of industrial residue	%	10
Cijena topline – Price of heat	kn/MWh	136
Sati rada – Work hours	h/god	8000
Broj zaposlenih – Number of employees		6
Bruto plaća – Gross salary	kn/mj.	8000
Vrijednost CHP kogen. Value of CHP cogeneration	mil. kn	50,88
Vrijednost ORC kogen. Value of ORC cogeneration	mil. kn	28,94
Tečaj EUR 19. 3. 2015. Exchange rate of EUR March 19, 2015	kn/€	7,648
Cijena ind. ostatka – Price of industrial residue	€/t	30
Cijena šumske sječke – Price of wood chips	€/t	50

\* Izvor – Source (Francescato i dr. 2008)

Kao cilj optimizacijskoga izračuna postavljena je maksimizacija dobiti postrojenja uz istodobno postizanje maksimalne učinkovitosti postrojenja. Optimizacijski će se izračun provoditi u skladu s ekonomskom funkcijom cilja s obzirom na to da se prilikom donošenja investicijske odluke u prvi plan postavlja pitanje izbora tehnologije postrojenja koja će tijekom eksploatacijskoga razdoblja omogućiti ekonomski op-

timalan pogon te tako osigurati željenu profitabilnost investicije bez stvaranja dodatnih troškova (Lončar i dr. 2009, Kuhi-Thalfeldt i Valtin 2007). U radu se razlikuju scenariji po izlaznoj toplinskoj snazi, odnosno optimizacijski se izračun radi za postrojenja izlazne električne snage 1 MW<sub>e</sub>, dok se izlazna toplinska snaga namijenjena prodaji mijenja u rasponu od 1 do 6 MW<sub>t</sub>. Ostale su odrednice scenarija definirane ulaznim parametrima i tehničkim značajkama konfiguracija postrojenja. Kriteriji s obzirom na koje se vrši optimizacija definirani su karakteristikama scenarija, oni daju osnovne uvjete koje mora zadovoljiti rad kogeneracijskoga postrojenja, te tako postavljaju okvir za pronalaženje optimalnoga režima rada u skladu s definiranim ciljem. Ostvarivanjem prava na prodaju proizvedene električne energije po poticajnoj cijeni značajno raste ostvarena dobit postrojenja, stoga uvjeti na temelju kojih proizvođač ostvaruje pravo na poticajnu cijenu predstavljaju kriterije korištene za optimizaciju rada odabranih postrojenja. Visina poticajne otkupne cijene električne energije i uvjeti koje proizvođač mora zadovoljiti definirani su »Tarifnim sustavom za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije« (NN 133/13).

Ukupna godišnja energetska učinkovitost obnovljivoga izvora energije ( $\eta_k$  OIE) definirana je izrazom (NN 127/2010):

$$\eta_k \text{ OIE} = (3600 \times Eu) + \frac{Hk}{Q} \quad (1)$$

Gdje je:

$\eta_k$  OIE    ukupna godišnja učinkovitost postrojenja  
Eu        proizvedena električna energija, MWh  
Hk        proizvedena korisna toplota, MJ  
Q        primarna energija goriva, MJ.

Uvjet za ostvarivanje prava na poticajnu cijenu najznačajnije je ograničenje koje mora zadovoljiti rad planiranoga postrojenja. Stoga je ovaj uvjet postavljen kao glavni kriterij u skladu s kojim će se izraditi pored-bena raščlamba ekonomskih pokazatelja rada postrojenja dobivenih optimizacijskim izračunom. Ugovor o otkupu električne energije proizvedene iz proizvodnih postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije i kogeneracijskih postrojenja sklapa se na vrijeme od 14 godina, stoga je navedeno razdoblje maksimalno razdoblje povrata investicije. Visina poticajne cijene (c), koja je utvrđena sklopljenim ugovorom o otkupu električne energije, korigira se svake godine u odnosu na utvrđenu korigiranu poticajnu cijenu iz prethodne godine primjenom indeksa potrošačkih cijena koji objavljuje Državni zavod za statistiku za prethodnu kalendarsku godinu za sve sklopljene valjane ugovore o



otkupu električne energije. Prva korekcija cijena primjenjuje se u kalendarskoj godini koja slijedi godinu u kojoj je ugovor o otkupu električne energije sklopljen. Godišnje potrebe postrojenja za drvnom biomasom dobivene su matematičkim modeliranjem za svaki režim rada postrojenja kao jedan od tehničkih pokazatelja. Godišnje su potrebe postrojenja izražene u 1000 t/god. te strukturirane prema izvoru na šumsku sječku i drveni ostatak. Kao polazna vrijednost za izračun površine potrebne za opskrbljivanje postrojenja koristit će se samo godišnje potrebe za šumskom sječkom onoga postrojenja koje je na temelju poredbene raščlambe ekonomskih pokazatelja rada utvrđeno kao najisplativije. Budući da je drvenu sječku moguće pridobivati iz dvaju u potpunosti različitih izvora (šumskih sastojina i kultura kratke ophodnje), potrebna površina za opskrbu postrojenja izračunat će se za oba slučaja.

### 3. Rezultati – Results

U ovom poglavlju prikazani su rezultati optimizacijskoga izračuna prema ekonomskoj funkciji cilja, maksimizacijom dobiti kogeneracijskih postrojenja za CHP i ORC kogeneracije na šumsku sječku uz dodatak 10 % industrijskoga drvnog ostatka za 1 MW<sub>e</sub> izlazne električne snage kojom se električna energija isporučuje u elektroenergetski sustav (EES). Izračunata je izlazna snaga topline namijenjene prodaji od 1, 2, 3, 4, 5 i 6 MW<sub>t</sub>. Rezultati su izračuna podijeljeni na ekonomske i tehničke pokazatelje te su prikazani u odnosu na konfiguraciju postrojenja.

#### 3.1 Poredba rezultata za CHP i ORC kogeneracije *Comparison of results for CHP and ORC cogeneration*

Poredba rezultata izračuna za CHP i ORC kogeneracije obavljena je za dva temeljna kriterija kojima se stječe, određuje i provjerava status povlaštenoga proizvođača električne energije iz obnovljivih izvora, a to su:

- ⇒ dobit odnosno gubitak u tisućama eura mjesečno (1000 €/mj) jer će investitor uložiti samo u postrojenje čija konfiguracija osigurava pokriće svih troškova rada, otplatu anuiteta kredita za investiciju i uza sve to pozitivan poslovni rezultat odnosno dobit. Ako rezultati ekonomske analize pokazuju gubitak, od investicije se odustaje.
- ⇒ ukupna učinkovitost postrojenja pokazuje da li odabrano postrojenje zadovoljava uvjet ukupne godišnje učinkovitosti veće od 50 %. Zadovoljavanjem toga uvjeta ostvaruje se pravo na otkup proizvedene električne energije po povlaštenoj cijeni.

Na temelju istih kriterija odabrat će se postrojenje za koje će se izračunati veličina površine koja zadovoljava potrebe postrojenja za šumskom sječkom. Rezultati poredbene raščlambe izračunatih varijanti režima rada promatranih kogeneracijskih postrojenja na obnovljive izvore energije prikazani su u tablici 2. Poticajna je cijena izračunata prema važećem tarifnom sustavu (NN 127/2010).

**Tablica 2.** Poredbena raščlamba ključnih parametara kogeneracijskih postrojenja

**Table 2** The comparison analysis of the key parameters of cogeneration plants

Toplina Heat	$E_{\text{CHP}}$	$E_{\text{ORC}}$	$E_{\text{min}}$	Dobit <sub>CHP</sub> Profit <sub>CHP</sub>	Dobit <sub>ORC</sub> Profit <sub>ORC</sub>
MWt	%	%	%	1000 €/mj	1000 €/mj
1	43,55	23,91	50	32,14	25,77
2	55,78	35,88	50	42,28	38,57
3	64,9	47,86	50	52,15	51,37
4	71,96	59,84	50	61,83	64,18
5	77,59	71,81	50	71,41	76,98
6	82,19	83,84	50	80,9	89,83

Iz tablice 2 vidljivo je da ni jedno kogeneracijsko postrojenje ne zadovoljava uvjet efikasnosti ( $\eta_{\text{OIE}} = 50\%$ ) kod malih izlaznih snaga pa prema tomu u tim uvjetima ne mogu ostvariti uvjet povlaštenosti, što automatski generira gubitak u poslovanju i investicija nije prihvatljiva. Parno CHP kogeneracijsko postrojenje dostiže granični slučaj kod izlazne toplinske snage od 1,7 MW<sub>t</sub>, a ORC tek pri izlaznoj toplinskoj snazi od 3,2 MW<sub>t</sub>. U čitavom području rada CHP postrojenje ima veću efikasnost, a ORC ga dostiže tek kod izlazne toplinske snage od 5,6 MW<sub>t</sub>.

Na temelju prikazanih rezultata i definiranih kriterija određeno je da će se za ORC postrojenje s izlaznom električnom snagom 1 MW<sub>e</sub> i izlaznom toplinskom snagom 6 MW<sub>t</sub> izračunati veličina površine koja zadovoljava potrebe postrojenja za šumskom sječkom. Kriterij za odabir postrojenja s navedenim karakteristikama bila je ostvarena dobit. Navedeno postrojenje prema modelu tvrtke Lega d.o.o. ostvaruje najveću dobit od svih ostalih konfiguracija. Prema modelu tvrtke Lega d.o.o. (koji uključuje godišnje prinose, površinu, snagu postrojenja i ostale parametre) ukupne godišnje potrebe ovoga postrojenja za šumskom sječkom iznose 15 763,37 tona.



### 3.2 Veličina kulture kratke ophodnje koja zadovoljava godišnje potrebe postrojenja

*Size of short rotation plantation that meets annual needs of the plant*

Površina koja zadovoljava godišnje potrebe postrojenja izračunata je na temelju godišnjega prinosa kulture, godišnjih potreba za sječkom, duljine ophodnje, ogrjevne vrijednosti sječke i ogrjevne vrijednosti vrbe uzgojene u kulturama kratke ophodnje. Izračunu veličine potrebne površine za opskrbu postrojenja sječkom iz kulture kratke ophodnje pristupa se preko potreba postrojenja za primarnom energijom jer se ogrjevna vrijednost sječke definirana ulaznim parametrima značajno razlikuje od ogrjevne vrijednosti vrbe uzgojene u kulturi kratke ophodnje. Navedeno se odnosi isključivo na udio vode. Iz rezultata je vidljivo da je ukupna površina kulture neovisna o duljini ophodnje s obzirom na to da je pretpostavljen jednolik godišnji prinos tijekom čitave duljine ophodnje. Tablica 3 i 4 prikazuju rezultate izračuna.

**Tablica 3.** Prinosi kulture kratke ophodnje u odnosu na duljinu ophodnje

**Table 3** Short rotation plantation yields in relation to the length patrols

Ophodnja <i>Rotation period</i>	Ukupni prinos suhe tvari <i>Total dry matter yield</i>	Prinos biomase <i>Biomass yield</i> M = 22 %	Prinos primarne energije <i>Primary energy yield</i>
Godine – Years	t/ha	t/ha	MJ/ha
2	24	27,27	376.778
5	60	68,18	941.945

Vrijednosti u tablici 3 dobivene su na temelju dosadašnjih istraživanja Kajbe i dr. (2010) te Francescata i dr. (2008).

**Tablica 4.** Površina kulture koja zadovoljava godišnje potrebe postrojenja

**Table 4** Plantation surface that meets annual needs of plants

Potrebna površina za godišnju opskrbu postrojenja <i>Surface required for the annual supply of plants</i>	
Ophodnja, god. <i>Rotation period, years</i>	Površina, ha <i>Area, ha</i>
2	582,37
5	232,95

Iz tablice 1 vidljivo je kako ogrjevna vrijednost sječke iznosi 13,92 MJ/kg, a ukupne godišnje potrebe ovoga postrojenja za šumskom sječkom iznose 15 763,37 tona (izlazni parametar modela tvrtke Lega d.o.o.). Množenjem tih vrijednosti dobiveno je 219 426 110,46 MJ potrebne energije za cijelo postrojenje. U tablici 3 prikazane su vrijednosti prinosa primarne energije za dvogodišnju i petogodišnju ophodnju. Stavljanjem u odnos potrebe energije za cijelo postrojenje i prinosa kulture dobivene su vrijednosti prikazane u tablici 4.

## 4. Zaključak – Conclusion

Ciljevi i odrednice energetske politike na razini Europske unije dramatično su se promijenili u posljednjih petnaestak godina. Razne gospodarske i političke krize te katastrofalne posljedice klimatskih promjena istaknule su važnost potrajnoga gospodarenja resursima i omogućile proboj ideje održivoga razvoja iz znanstvenih krugova u nacionalne strateške dokumente. Ugradnja ideje održivoga razvoja u razvojne politike ne pridonosi samo sprečavanju negativnih posljedica na okoliš, već istodobno pridonosi gospodarskomu i društvenomu razvoju. Ublažavanje klimatskih promjena, potreba za čistom i lokalno proizvedenom energijom, te zaštita i potrajno upravljanje prirodnim resursima istaknuti su kao najznačajniji izazovi koji se nalaze pred modernim društvom. Republika Hrvatska u sklopu svoje nove energetske strategije opredijelila se za intenzivnije korištenje obnovljivih izvora energije i poticanje energetske učinkovitosti. Te bi mjere trebale pridonijeti smanjenju energetske ovisnosti koja je zbog izrazite volatilnosti cijene energenata jedan od glavnih problema Republike Hrvatske. Šumarstvo, poljoprivreda, energetika i turizam smatraju se gospodarskim djelatnostima koje su najviše pogođene i najosjetljivije na klimatske promjene, stoga je proizvodnja »čiste« energije iz šumske biomase jedinstvena prilika za šumarstvo i energetski sektor. Intenzivno korištenje šumske biomase za proizvodnju energije omogućilo bi znatno učinkovitije iskorištavanje i intenziviralo njegu šuma. Razni radovi na njezi te uzgojni radovi u degradiranim sastojinama mogli bi postati isplativi jer bi se osiguralo lokalno tržište i stalna potreba za drvom iz tih radova. Također, s povećanom njegovom šuma porastao bi i godišnji prirast, što bi značajno povećalo ponor ugljika. Istodobno se energetskomu sektoru osigurava trajni izvor domaćega, ekološki prihvatljivoga energenta.

U radu je korišten računalni model kako bi se optimizacijskim izračunom dobili ekonomski i tehnički parametri CHP i ORC kogeneracijskoga postrojenja.

Izračunom je utvrđeno da postrojenja u svim uvjetima mogu generirati dobit, no da pri niskoj izlaznoj toplinskoj snazi ne zadovoljavaju uvjet o ukupnoj energetske učinkovitosti postrojenja. Nezadovoljavanjem toga uvjeta gubi se pravo na otkup proizvedene električne energije po poticajnoj cijeni, što ima značajne posljedice na poslovni rezultat postrojenja jer u strukturi prihoda postrojenja najveći udio zauzimaju prihodi od prodane električne energije. Stoga u slučaju nezadovoljavanja uvjeta o energetske učinkovitosti ukupan rad, a time i investicija u postrojenje postaju neisplativi. Nadalje, izračunom je utvrđeno da *CHP* postrojenje ima veću iskoristivost od *ORC* postrojenja u gotovo čitavom rasponu izlazne toplinske snage, no da unatoč tomu ostvaruje veću dobit od *ORC* postrojenja samo pri nižoj izlaznoj toplinskoj snazi. Ti rezultati potvrđuju pretpostavku da se kogeneracijsko postrojenje mora dimenzionirati u skladu s ukupnim potrebama i dinamikom potrošnje toplinskoga konzuma bez obzira na to što se najveći prihodi ostvaruju prodajom električne energije.

U slučaju opskrbe postrojenja šumskom sječkom iz kulture kratkih ophodnji ukupna površina kulture koja trajno može zadovoljavati godišnje potrebe postrojenja iznosi približno 582 ha za dvogodišnju ophodnju, odnosno 232 ha za petogodišnju ophodnju. Ta je površina velika, pogotovo kad se uzme u obzir da se uzgoj vrbovih kultura kratkih ophodnji najviše istražuje i planira u istočnoj Hrvatskoj gdje su poljoprivredne površine često vrlo rascjepkane i usitnjene. Uspostavu vrbovih kultura kratkih ophodnji na tako velikom zemljištu otežava i to što se one trebaju uspostavljati samo na marginalnom poljoprivrednom zemljištu. Zbog toga u slučaju uspostave kulture realno se može očekivati da čitava kultura neće biti objedinjena na istoj lokaciji, već da će površine koje zadovoljavaju godišnje potrebe postrojenja biti raštrkane na manjim udaljenostima. U slučaju nedostatka zemljišta i poteškoća s njegovim okrupnjavanjem preporučuje se planiranje uzgoja s dužom ophodnjom jer se tako uživa veća količina biomase s iste površine. Ako se postrojenje opskrbljuje drvnom sječkom iz šumskih sastojina, u većini je slučajeva potreban godišnji etat po površini između 10 000 ha i 12 000 ha kako bi se zadovoljile godišnje potrebe postrojenja za šumskom sječkom.

Zaključno, na temelju prikazanih rezultata vidljivo je da računalni programi namijenjeni optimizaciji rada kogeneracijskih postrojenja mogu služiti i za planiranje izvora opskrbe energetske postrojenja. Optimizacijskim izračunom mogu se dobiti godišnje potrebe postrojenja za šumskom sječkom, što je posebno korisno u slučaju velikoga broja planiranih postrojenja

na istom području. U tom se slučaju mogućnosti zadovoljavanja potreba svih postrojenja za gorivom mogu utvrditi na temelju usporedbe izračunatih godišnjih potreba postrojenja za drvnom sječkom s planom sječe za opskrbno područje ili s rezultatima analize raspoloživosti biomase na istom području. Tako bi se jednostavno i brzo moglo odrediti je li opskrba postrojenja moguća i dugoročno održiva na određenom području.

## 5. Literatura – References

- Birgham, E. F., P. R. Daves, 2013: Intermediate Financial Management (11<sup>th</sup> edition), South – Western Cengage Learning, Mason, Ohio, Sjedinjene Američke Države, 1168 str.
- Bogdan, Ž., N. Šerman, D. Lončar, 2002: Računalom podržano planiranje proizvodnje složenog kogeneracijskog postrojenja. Zbornik radova 5. međunarodnog znanstveno-stručnog savjetovanja Energetska i procesna postrojenja. *Energetika Marketing* 44: 17–25.
- Bogdan, Ž., N. Šerman, M. Baburić, 2001: Cost Optimization of EL–TO Zagreb Cogeneration Plant, zbornik radova 23<sup>rd</sup> International Conference on Information Technology Interfaces, Pula, 343–349.
- Brealey, R. A., S. C. Myers, A. Franklin, 2001: Principles of corporate finance (10<sup>th</sup> edition), McHraw–Hill Irwin, New York, Sjedinjene Američke Države, 875 str.
- Čerić, V., M. Varga, 2004: Informacijska tehnologija u poslovanju. Sveučilišni udžbenik, Ekonomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Element, Zagreb, 87–103.
- Domac, J., M. Beronja, S. Fijan, B. Jelavić, V. Jelavić, N. Krajnc, D. Kajba, T. Krička, V. Krstulović, H. Petrić, I. Raguzin, S. Risović, L. Staničić, H. Šunjić, 2001: Bioen Program korištenja energije biomase i otpada. Nove spoznaje i provedba, 144 str.
- Dundović, J., 2011: Šesti Hrvatski dani biomase, Hrvatsko-austrijski gospodarski skup »Biomasa i bioplin (električna i toplinska energija)«, *Šumarski list* 137(9–10): 238–241.
- Europska komisija, 2013: EU energy, transport and GHG emissions trends to 2050 reference scenario 2013, str 46. <http://ec.europa.eu/transport/media/publications/doc/trendsto-2050-update-2013.pdf> (Pristupljeno 6. lipnja 2015.)
- Europski parlament i Vijeće, 2009: Direktiva 2009/28/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. travnja o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora, te o izmjeni i kasnijem stavljanju izvan snage direktiva 2001/77/EZ i 2003/30/EZ, *Službeni list Europske unije*, L140/16, 39–84.
- Francescato, E., V. Antonini, T. L. Bergomi, 2008: Priručnik o gorivima iz drvne biomase (proizvodnja, zahtjevi kvalitete, trgovina). REGEA – Regionalna energetska agencija Sjeverozapadne Hrvatske. Zagreb, 79 str.

[http://www.biomassradecentre2.eu/scripts/download.php?file=/data/pdf\\_vsebine/Handbook/handbook\\_CRO.pdf](http://www.biomassradecentre2.eu/scripts/download.php?file=/data/pdf_vsebine/Handbook/handbook_CRO.pdf) (Pristupljeno 2. lipnja 2015.)

Kajba, D., J. Domac, V. Šegon, 2010: Biomass energy Europe illustration case for Croatia. Projekt Biomass Energy Europe, D6.1, Aneks 2, 20 str.

Kallio, M., A. Leinonen, 2005: Production technology of forest chips in Finland, project report BIO–SOUTH EIE, Technical research Centre of Finland, 64 str.

Kuhi-Thalfeldt, R., J. Valtin, 2007: Economic analysis of a biogas–fuelled cogeneration power plant. Zbornik radova doctoral school of energy– and geo–technology, Kuressaare, Estonia, 164–168.

Lončar, D., G. Krajačić, M. Vujanović, 2009: Podrška developima – primjeri najbolje prakse za kogeneraciju na drvenu biomasu, Centar za transfer tehnologije – CTT. Zagreb, 147 str.

[oie.mingo.hr/UserDocsImages/BIOCHP\\_HR.pdf](http://oie.mingo.hr/UserDocsImages/BIOCHP_HR.pdf) (Pristupljeno 7. lipnja 2015.)

Medarac, I., H. Medarac, 2013: Komparacija postrojenja na drvenu biomasu i bioplinskih postrojenja primjenom matematičkih modela, prezentacija. Seminar Mogućnosti primjene obnovljivih izvora energije, Zagreb, 28. veljače.

Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, 2013: Nacionalni akcijski plan za obnovljive izvore energije do 2020. godine – prijedlog, 118 str.

<http://files.hrote.hr/files/PDF/Dokumenti/NAP/Nacionalni%20akcijski%20plan%20za%20OIE%20do%202020..pdf> (Pristupljeno 1. lipnja 2015.)

Orsag, S., L. Dedi, 2011: Budžetiranje kapitala– Procjena investicijskih projekata. Drugo prošireno izdanje, Masmedia, Zagreb, 416 str.

Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, 2013: Tranzicija prema niskougljičnom razvoju Republike Hrvatske, okvir za izradu Strategije niskougljičnog razvoja– sažetak, 50 str.

[http://mzoip.hr/doc/tranzicija\\_prema\\_niskougljicnom\\_razvoju\\_hrvatske.pdf](http://mzoip.hr/doc/tranzicija_prema_niskougljicnom_razvoju_hrvatske.pdf) (Pristupljeno 19. lipnja 2015.)

Strategija enegetskog razvoja Republike Hrvatske, 2008: Službeni list Republike Hrvatske, NN 152/08.

Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske, 2009: Službeni list Republike Hrvatske, NN 130/09.

Sučić, Ž., 2008: Raspoloživi potencijal šumske biomase i kako ga koristiti. Prezentacija, Toplifikacija naselja na obnovljive izvore energije, Sisak. <http://www.sumari.hr/biomasa/urhsisak2008/1–3Sucic.pdf> (Pristupljeno 19. lipnja 2015.)

Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije, 2010: Službeni list Republike Hrvatske, NN 127/2010.

Zakon o energiji, 2015: Službeni list Republike Hrvatske, NN 102/15.

## Abstract

### *Calculation of Profitability and Optimization of Cogeneration Plant Using Wood Chips*

*Use of biomass in the energy sector is a unique opportunity for forestry. In addition to ensuring the price and the market for the product that is considered the lowest quality from the technical aspect (long wood), it enables a considerably more effective exploitation and a more intensive caring for forests. Diverse works of caring for forests, such as pollarding and the first tending, as well as silvicultural activities in degraded stands could become cost–effective, since there is a local market and a continuous long–term demand for wood biomass. Moreover, the planting of fast–growing forest cultures and their establishment on uncovered forest land could increase the attractiveness of investment into forestry, since the rate of return and the period of return on investment is significantly shorter compared with classical forestry. The program package developed by Lega d.o.o. was used in the paper in order to perform optimization calculation for two types of cogeneration plants (CHP and ORC), and hence a comparative analysis of the results of optimization calculation was performed. Evaluation of cost–effectiveness of investment or capital budgeting was performed upon reaching a decision on involvement into long–term investment projects. The surface that met the annual requirements of the plant was calculated based on the annual yields of forest culture, annual requirements for wood chips, the length of the rotation period, calorific value of wood chips, as well as calorific value of willow grown in short rotation cultures.*

*Keywords: biomass, energy production, cost–effectiveness, cogeneration, capital budgeting*

---

Adrese autorâ – *Authors' addresses:*

Izv. prof. dr. sc. Stjepan Posavec \*  
e-pošta: sposavec@sumfak.hr  
dr. sc. Karlo Beljan  
e-pošta: kbeljan@sumfak.hr  
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
Zavod za izmjeru i uređivanje šuma  
Svetošimunska 25  
10 000 Zagreb  
HRVATSKA

Prof. dr. sc. Željko Zečić  
e-pošta: zzecic@sumfak.hr  
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
Zavod za šumarske tehnike i tehnologije  
Svetošimunska 25  
10 000 Zagreb  
HRVATSKA

Nenad Šimunović, mag. ing. silv.  
e-pošta: neno.simunovic@gmail.com  
Naselje Slavonija I 2/2  
35000 Slavonski Brod  
HRVATSKA

\* Glavni autor – *Corresponding author*

Primljeno (*Received*): 19. 9. 2016.

Prihvaćeno (*Accepted*): 21. 10. 2016.



# Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu domaćin sastanka Ekspertnoga tima za energiju drva UNECE/FAO-a

Na trideset i osmoj sjednici Radne skupine o statistici, ekonomici i gospodarenju šumama ECE/FAO-a, održanoj u Ženevi 23. i 24. ožujka 2016. godine, prihvaćen je prijedlog da Republika Hrvatska bude domaćin trećega sastanka Ekspertnoga tima za energiju drva UNECE/FAO-a. Organizacija je sastanka, uz potporu Ministarstva poljoprivrede Republike Hrvatske i Hrvatske komore inženjera šumarstva i drvne tehnologije, povjerena Šumarskomu fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Ekonomska komisija za Europu Ujedinjenih naroda (UNECE) osnovana je 1947. godine kao jedna od pet regionalnih komisija Ujedinjenih naroda. Glavni cilj Ekonomske komisije za Europu, koja uključuje pedeset i šest zemalja članica u Europi, Sjevernoj Americi i Aziji, unaprjeđenje je paneuropske ekonomske integracije. Značajna je pažnja Ekonomske komisije za Europu tradicionalno posvećena i šumarstvu i drvnoj industriji, i to praćenjem stanja šuma u regiji, pružanjem pomoći u razvoju politika potrajnoga gospoda-

renja šumama i širenjem svijesti o šumskim proizvodima i općekorisnim funkcijama koje šumski ekosustavi pružaju društvu. Značenje drvene biomase kao vodećega izvora obnovljive energije u regiji prepoznat je i posebno naglašen zajedničkom odlukom UNECE-ova Odbora za šume i drvnu industriju (COFFI) i Europske šumarske komisije (EFC) FAO-a osnivanjem Ekspertnoga tima za energiju drva UNECE/FAO-a.

U radu sastanka Ekspertnoga tima za energiju drva UNECE/FAO-a, održanom u Zagrebu od 14. do 16. lipnja 2016. godine, sudjelovala su dvadeset i tri međunarodna eksperta: predstavnici zemalja članica (Austrija, Belgija, Estonija, Finska, Hrvatska, Litva, Njemačka, SAD, Srbija, Švedska) i predstavnici međunarodnih organizacija (UNECE – Ekonomska komisija za Europu Ujedinjenih naroda, FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations, IRENA – International Renewable Energy Agency, AEBIOM – European Biomass Association, CEI-Bois – European Confederation of Woodworking Industries).



**Slika 1.** Radni sastanak u vijećnici Šumarskoga fakulteta

**Fig. 1.** The working meeting in the conference hall of the Faculty of Forestry



**Slika 2.** MMM – Vukelić d.o.o.

**Fig. 2.** MMM – Vukelić Ltd.



**Slika 4.** Pelet grupa d.o.o.

**Fig. 4.** Pelet grupa Ltd.



**Slika 3.** Ante Mijić Quercus d.o.o.

**Fig. 3.** Ante Mijić Quercus Ltd.



**Slika 5.** NPŠO Lipovljani

**Fig. 5.** FTRC Lipovljani

Osnovne su teme sastanka bile »Zajednički upitnik o energiji drva« (*Joint Wood Energy Enquiry – JWEE*) i publikacija »Stanje energije drva u Europi, Zajednici Nezavisnih Država i Sjevernoj Americi« (*The State of Wood Energy in Europe, CIS and North America*).

JWEE je osnovni »alat« za prikupljanje podataka o proizvodnji i korištenju drvnih biogoriva na području regije koju pokriva ECE koji nacionalni korespondenti koriste pri izvješćivanju. Popunjava se svake dvije godine i nakon provjere i obrade čini bazu podataka koja služi prilikom izrade tradicionalnih godišnjih publikacija UNECE/FAO-a (npr. *Forest Products Annual Market Review*), ali pruža i uporište za raspravu o politikama održivoga korištenja drvene biomase kao energenta. Sudionici su sastanka raspravljali o rezul-

tatima JWEE2013 i predložili mjere za poboljšanje uputa za popunjavanje i strukture upitnika s posebnim naglaskom na važnost pretvorbenih faktora.

Na prethodnom sastanku, održanom 2015. godine u Beču, članovi su tima nakon rasprave o dostupnim publikacijama o energiji drva prihvatili ideju da se na temelju podataka iz upitnika (JWEE) pripremi zasebna publikacija UNECE/FAO-a. Početna je ideja razrađena; za sastanak u Zagrebu pripremljen je prijedlog poglavlja te potencijalni autori i recenzenti. Tijekom sastanka u Zagrebu, zajedničkim radom sudionika, a uvažavajući sugestije svih članova tima koji su sudjelovali u pripremi prijedloga, definirana su poglavlja publikacije (Pojmovnik, Energija drva i njezine višestruke funkcije: gospodarenje šumama, energija i

okoliš, JWEE – povijest, razvoj i primjeri dobre prakse, Energija drva u zemljama članicama ECE-a, Drvena biogoriva, Instrumenti javnih politika za potporu održivoga korištenja drvne biomase kao energenta, Pogled prema budućim tržištima energije iz drvne biomase – Sveobuhvatni regionalni pregled, Studije slučaja), podrobno razrađene teme pojedinih poglavlja i definirani nositelji i rokovi izrade.

Tijekom sastanka sudionicima je predstavljena povijest i studijski programi Šumarskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Uloga šumske biomase kao obnovljivoga izvora energije u Republici Hrvatskoj i Laboratorij za šumsku biomasu Šumarskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Trećega dana sastanaka organiziran je studijski posjet drvnoindustrijskim poduzećima u Novskoj i Nastavno-pokusnomu šumskom objektu Lipovljani. Predstavljani su proizvodni procesi u poduzećima MMM – Vukelić d.o.o., Ante Mijić – Quercus d.o.o. i Pelet grupa d.o.o., s naglaskom na primjenu najmodernijih svjetskih dostignuća u korištenju drvnoga os-

tatka za proizvodnju procesne topline, proizvodnju drvne sječke i drvnih briketa te proizvodnju električne energije u kogeneracijskom postrojenju i učinkovitim korištenju toplinske energije u proizvodnji drvnih peleta. Sastanak je zaključen posjetom NPŠO-u Lipovljani tijekom kojega su sudionicima predstavljeni temeljni postulati potrajnoga gospodarenja nizinskim šumama hrasta lužnjaka i osnovne značajke sustava pridobivanja drva u prirodnim šumama.

Na sastanku je izabrano i novo rukovodstvo Ekspertnoga tima za energiju drva UNECE/FAO-a. Za voditelja je izabran dr. sc. Dinko Vusić (Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Republika Hrvatska), a za zamjenike voditelja izv. prof. dr. sc. Francisco X. Aguilar (University of Missouri, Sjedinjene Američke Države) i doc. dr. sc. Matthias Dees (Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Savezna Republika Njemačka). Prihvaćen je prijedlog da se sljedeći sastanak Ekspertnoga tima za energiju drva UNECE/FAOa održi u svibnju 2017. godine u SAD-u..

Željko Šantek





## Drugi hrvatski festival kiparenja motornom pilom

U organizaciji Društva za športsku rekreaciju Salinovec te pod ponovnim pokroviteljstvom Grada Ivanca i Šumarskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu 4. i 5. lipnja u parku stare škole Salinovec održan je 2. hrvatski festival kiparenja motornom pilom. Festival je otvorio gradonačelnik grada Ivanca Milorad Batinić, dipl. ing. šumarstva.

Svoje umijeće kiparenja motornom pilom predstavilo je sedam natjecatelja iz Hrvatske te četiri iz Slovenije. Na festivalu su sudjelovali ovi kipari:

1. Klemen Omejc, Preddvor (Slo.)
2. Miro Rismondo, Smlednik (Slo.)
3. Matija Vavdi, Solčava (Slo.)
4. Matija Cigljari, Solčava (Slo.)
5. Dražen Kuharović, Koprivnica (Hrv.)
6. Ivan Trupković, Sirač (Hrv.)
7. Franjo Butković, Sirač (Hrv.)
8. Zoran Sestrić, Sirač (Hrv.)
9. Krno Posavec, Podravske Sesvete (Hrv.)



**Slika 1.** Skulptura »Pčela na runolistu«  
**Fig. 1** The sculpture »Bee on Edelweiss«

10. Josip Tomaić, Krasno (Hrv.)

11. Dario Horbec, Ivanec (Hrv.).

Na jedinstvenom događaju bile su pokazane vještine natjecatelja u rezbarenju drveta, a glavnu skulpturu najboljega kipara birao je stručni žiri u sastavu:

- ⇒ akademski grafičar Josip Baće
- ⇒ akademski kipar Vladimir Gašparić
- ⇒ akademski kipar Krešimir Rod.

Bodovnim vrednovanjem proglašene su najbolje tri skulpture:

1. Prvo mjesto osvojila je skulptura »Pčela na runolistu« kipara Josipa Tomaića (slika 1).
2. Drugo mjesto osvojila je skulptura »Dinosaur T-Rex« kipara Dražena Kuharovića (slika 2).
3. Treće mjesto osvojila je skulptura »Vitez Ivanovac« kipara Mire Rismonda (slika 3).

Natjecanje u brzom izradi skulpture (*speedcarving*) bilo je izrazito atraktivna disciplina u kojoj se natjecatelji dalo samo 40 minuta za izradu skulpture. U toj



**Slika 2.** Skulptura »Dinosaur T-Rex«  
**Fig. 2** The sculpture »Dinosaur T-Rex«



**Slika 3.** Skulptura »Vitez ivanovac«

**Fig. 3** *The sculpture »Knight Ivanovac«*

se disciplini kao najbrži, ali i najvišom postignutom cijenom na licitaciji, pokazao Dražen Kuharović izradom skulpture »Sova ušara« (slika 4).

Za dašak tradicije zaduženi su i ove godine bili članovi KUD-a Salinovec koji su predstavili tradicionalne plesove i nošnju svoga kraja, a na štandovima su se predstavili Šumarski fakultet Zagreb, tvrtka Unikomerc-uvoz d.o.o., Adria Oil d.o.o. te javna ustanova »Pećinski park Grabovača«, koja se pobrinula za ani-



**Slika 4.** Najbolja speedcarving skulptura »Sova ušara«

**Fig. 4** *The best speed carving sculpture »eagle-owl«*

maciju najmlađih posjetitelja preko različitih edukativnih radionica.

Procjena je organizatora da je broj posjetitelja ostao na istoj razini kao i prošle godine unatoč lošijemu vremenu, a zbog sve veće zainteresiranosti ljudi za ovaj oblik umjetnosti ne treba sumnjati da će festival izrasti u veliku i veoma zanimljivu manifestaciju. Ako ste kojim slučajem propustili posjetiti festival ove godine, to možete lako popraviti sljedeće godine na već tradicionalnom 3. hrvatskom festivalu kiparenja motornom pilom.

Kruno Lepoglavec

# Međunarodno znanstveno savjetovanje FORMEC 2016

U Varšavi je od 4. do 7. rujna 2016. godine održano 49. međunarodno znanstveno savjetovanje udruženja FORMEC pod naslovom »From Theory to Practice: Challenges for Forest Engineering« u organizaciji varšavskoga Prirodoslovnoga sveučilišta (SGGW) pod vodstvom predsjednika Organizacijskoga odbora profesora Tadeusza Moskalika.

Glavni je cilj savjetovanja bio naglasiti sve izazove s kojima se susreću brojni sudionici u šumarstvu, a posebice vezano uz različite sječne sustave, otvaranje šuma, prijevoz drva, okolišnu pogodnost radova pridobivanja drva, uporabu šumske biomase za energiju te sigurnost pri radu. Kao i svake godine, ideja je savjetovanja FORMEC-a povezivanje znanstvenika, istraživača i praktičara iz cijeloga svijeta radi izmjene iskustava, znanja i vještina u području šumarskih tehnika i tehnologija.

Na savjetovanju je 2016. godine sudjelovalo 130 znanstvenika iz 23 zemlje, usmeno je bilo predstavljeno 90 prezentacija te izloženo 20 postera. Članovi Zavoda za šumarske tehnike i tehnologije Šumarskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu održali su dvije usmene prezentacije.

Savjetovanje su otvorili pozdravnim govorima predsjednik Organizacijskoga odbora Tadeusz Moskalik, predsjednik udruženja FORMEC Karl Stampfer, prorektor za međunarodnu suradnju Michał Zasada pri WULS SGGW, predstojnik Zavoda za iskorištavanje šuma Piotr Paschalis-Jakubowicz pri WULS SGGW te budući domaćin savjetovanja FORMEC 2017 u Rumunjskoj Stelian Alexandru Borz.

Na dvjema plenarnim sesijama održana su pozivna izlaganja. Prvo je održao Damian Zieliński, savjetnik generalnoga direktora poduzeća Poljskih državnih šuma, koji je dao pregled rada glavnoga državnoga poduzeća koje zapošljava 25 000 ljudi te gospodari sa 7,6 milijuna hektara u 430 šumarija diljem zemlje. Potom je izlagao Witold Urbaniak, predstavnik poduzeća Ponsse d.d., koji je prikazao najnovije proizvode, dostignuća i usluge finskoga poduzeća, osnovanoga 1970. godine u mjestu Vieremä. Dao je i pregled šumarskih vozila koja su kupci ocijenili najpopularnijima (slika 1). Nakon predstavljanja poduzeća Ponsse d.d. slijedila je

prezentacija Jean-François Gingrasa pod naslovom »FPInnovations: leading R&D in Canadian forest operations« u kojoj je prikazan presjek usluga i proizvoda koje nudi organizacija FPInnovations kao vodeće poduzeće u Kanadi za istraživanje i razvoj (R&D) koje pokriva sve karike u lancu dobave drva i pomaže kanadskoj šumarskoj industriji u razvijanju novih rješenja u skladu s održivim razvojem. Nakon stanke Hans R. Heinemann, programski direktor Instituta »Future Resilient Systems« iz Singapura te profesor sa švicarskoga sveučilišta ETH iz Züricha, održao je predavanje o iznošenju drva zrakom od početaka uz pomoć balona i cepelina pa sve do danas pomoću helikoptera. Iduće je izlaganje održao profesor Tibor Pentek iz Zavoda za šumarske tehnike i tehnologije pod naslovom »Planning of primary forest road network on strategic and tactical level – from idea to implementation in operational forestry«. Izlagatelj je na primjeru jedne gospodarske jedinice iz Like prikazao tijek planiranja izgradnje mreže primarne šumske infrastrukture sa strateške i taktičke razine. Zadnje pozivno predavanje pripalo je Robertu Rutkowskiemu iz poduzeća GeoProhaus d.o.o., koji je na temu »The use of Mobile Mapping System for Geo-Spatio-Temporal Data gathering« prikazao mogućnosti prikupljanja i obrade podataka u terenskim uvjetima pomoću GIS-a.

Nakon stanke za ručak savjetovanje je nastavljeno u trima sesijama pod naslovom: 1) »Challenges in forestry«, 2) »Road construction & maintenance 1« i 3) »Wood supply chains«. U prvoj je izložen i drugi zagrebački rad pod naslovom »Protection of Oak Roundwood in FSC Certified High Forests« autora Milivoja Franjevića, Borisa Hrašovca, Tomislava Poršinskoga i Andreje Đuka. Rad je nastao suradnjom Zavoda za šumarske tehnike i tehnologije i Zavoda za zaštitu šuma Šumarskoga fakulteta u Zagrebu. U njem je prikazana integrirana zaštita hrastove oblovine od potkornjaka drvaša u šumama s certifikatom FSC. Štetnici iz roda *Typodendron* velik su ekonomski problem, osobito u najvećim svjetskim šumarstvima, gdje 75 % štete nastaje na oblovinu i sastojinama, a 25 % štete nastaje na stovarištima i mjestima koncentriranja oblovine.





**Slika 1.** Ponsseov desetokotačni forvarder

**Fig. 1** Ponsse ten-wheel forwarder

Nakon službenoga dijela sudionici su se uputili u razgledavanje barokne palače Sobieski kralja Jana III. u Wilanówu (slika 2), čija je gradnja započela još 23. 4. 1677. godine te koju okružuje 45 hektara parka različitih stilova: dvoetažni barokni vrt, neorenesansni vrt ruža, engleski park i englesko-kineski park.

Drugoga dana savjetovanja predstavljena je posterska sesija, nakon koje je organiziran i posjet šumi Jablona ukupne površine 2713 ha. Na terenu je demonstrirana strojna sječa i izrada drva harvesterom (slika 3A) te posjet rasadniku (slika 3B).

Trećega dana savjetovanja održano je ostalih 68 usmenih prezentacija u paralelnim sesijama, nakon čega je napravljena i oproštajna večera uz proglašenje najboljega usmenoga izlaganja i najboljega postera.



**Slika 2.** Palača Sobieski kralja Jana III. u Wilanówu

**Fig. 2** Sobieski palace of king Jan III in Wilanów



**Slika 3.** Posjet šumi Jablona i rasadniku

**Fig. 3** Visit to Jablona forest and nursery

Author: Martin Kühmaier





**Slika 4.** Nagrade za najbolji poster i usmeno izlaganje

**Fig. 4** Best poster and paper awards

Nagradu za najbolji poster (slika 4A) pod naslovom »Development of an Efficient Forest Inventory on Enterprise Level (Small Area Inventory)« dobio je Leo Bont iz švicarskoga Saveznoga šumarskoga instituta, dok je najboljom prezentacijom proglašena (slika 4B) »Propagation of Noise Generated by Light-lift Helicopters in Natural Environments: a Case Study in the Italian Alps« koju su predstavili autori Stefano Grigolato, Omar Mologni, Rafaella Cavalli, Andrea Proto i Giuseppe Zimbalatti.

Većina se održanih prezentacija može naći i na internetskim stranicama udruženja FORMEC (<https://www.formec.org/proceedings/70-poland-2016-presentations.html>), dok je zbornik savjetovanja još u pripremi.

Iduće, jubilarno 50-godišnje savjetovanje udruženja FORMEC održat će se u Braşovu u Rumunjskoj od 25. do 29. rujna 2017. godine.

Andreja Đuka



# Međunarodno znanstveno savjetovanje »Gozdarsko inženirstvo jugovzhodne Evrope – stanje in izzivi«, Planica, Slovenija, 21. – 23. rujna 2016.

U Planici je od 21. do 23. rujna 2016. godine održano 3. međunarodno znanstveno savjetovanje »Gozdarsko inženirstvo jugovzhodne Evrope – stanje in izzivi«. Organizator je savjetovanja bio Odsjek za šumarstvo i obnovljive šumske resurse Biotehničkoga fakulteta Sveučilišta u Ljubljani. Savjetovanje je održano u Olimpijskom sportskom centru Planica, a sudjelovalo je preko trideset sudionika iz zemalja regije. Među sudionicima bili su znanstvenici i istraživači šumarskih fakulteta iz Skoplja, Sarajeva, Banje Luke, Zagreba, Ljubljane i Beograda, zatim predstavnici sponzora Tajfun, Uniforest, Husquarna, Vilpo i Pahernikova ustanova. Predstavljeno je više od dvadeset znanstvenih, stručnih i preglednih radova.

Savjetovanje su otvorili izv. prof. dr. sc. Jurij Marenče i izv. prof. dr. sc. Janez Krč s Biotehničkoga fakulteta u Ljubljani.

Glavne su teme savjetovanja bile:

- ⇒ 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.

Znanstvena su izlaganja održana u pet sesija u prva dva dana savjetovanja, dok su izlaganja sponzora održana između sesija. Posljednji je dan savjetovanja bio namijenjen za zaključke i posjet glavnomu sponzoru savjetovanja, tvrtki Tajfun u Planini pri Sevnici gdje je predstavljen njihov proizvodni program.

Podneseni su sljedeći referati:

## Sesija 1

Poje, A., Potočnik, I.: *Estimation of the impact of job rotation on the physiological workload during cable yarding with the Syncrofalke tower yarder*

Danilović, M., S. Antonić, D. Stojnić, P. Vojvodić, N. Čuprić: *Efficiency of application of different methods of uti-*



**Slika 1.** Sudionici savjetovanja – obilazak Olimpijskoga centra Planica i posjet tvrtki Tajfun

**Fig. 1** Participants of the conference – tour of the Olympic center Planica and visit to company Tajfun

*lization of random yields resulting from ice breaks and ice throws*

Đuka, A., D. Vusić, T. Poršinsky: *Terrain roughness evaluation for timber extraction by cable skidder*

Bajrić, M., S. Delić, D. Sokolović: *Economic effects of some methods of rehabilitation of secondary network of forest traffic infrastructure (tractor roads – skid trails)*

## Sesija 2

Nestorovski, L., M. Danilović, Z. Trajanov, P. Trajkov: *Distribution and availability of forest biomass in different regions of Republic of Macedonia*

Petković, V., D. Marčeta, I. Potočnik: *Determination of mean of real skidding distance with GIS*

Pezdevšek Malovrh, Š., P. Glavonjić, D. Nonić, J. Nedeljković, P. Kumer, M. Avdibegović: *Wood mobilization in Slovenia and Serbia: Can different organizational models of private forest owners help?*

Mihelič, M., B. Košir: *Intensifying the management of protective forests in the Alps*

## Sesija 3

Marenče, J., B. Šega, D. Gornik Bučar: *Beechwood – from logs to quality sawn wood*

Šporčić, M., M. Bakarić, H. Nevečerel, K. Lepoglavec, I. Papa, M. Landekić, A. Seletković: *The current status of forestry entrepreneurship in Croatia*

Gurda, S., J. Musić, V. Halilović, J. Knežević, A. Kuikić: *Occupational injuries in forestry in the area of the Central Bosnia Canton*

Trajanov, Z., L. Nestorovski, P. Trajkov: *Determination of the optimal density of forest roads for skidding by method of minimal cost*

## Sesija 4

Danilović, M., S. Antonić, D. Stojnić, P. Vojvodić, L. Nestorovski: *Working efficiency of a forwarder and tractor assembly in brushwood and pulpwood transport in lowland areas*

Petković, V., D. Marčeta, I. Potočnik: *Skidding distance as a indicator of forest accessibility*

Gurda, S., J. Musić, Dž. Sokolović, M. Bašić: *Damage on standing trees during timber extraction (winching phase) by cable skidder Timberjack 225 A*

Bačić, M., M. Šušnjar, Z. Pandur, D. Horvat: *Possibility of determining condition of forest road surface by vibrations*

## Sesija 5

Sanz, B., V. Leppänen, K. Waga, J. Malinen, T. Tokola: *LiDAR analysis to help make better decisions in forest road management*

Na savjetovanju su podnesena i tri znanstvena referata istraživača sa Šumarskoga fakulteta u Zagrebu. Njihovi se sažeci navode ovdje na hrvatskom jeziku:

⇒ Đuka, A., D. Vusić, T. Poršinsky: Procjena kamenitosti i stjenovitosti terena radi privlačenja drva skiderom s vitlom (*Terrain roughness evaluation for timber extraction by cable skidder*)

**Sažetak:** Pogodnost terena s obzirom na nagib, smjer pružanja nagiba i površinske prepreke utječe na izbor specijaliziranih šumarskih vozila pri radovima na pridobivanju drva. Dostupni podaci (pedološke karte, službene osnove i programi gospodarenja) o površinskim preprekama iskazuju kamenitost ili stjenovitost kao udio po površini i kao takvi ne daju jasnu sliku o terenski pogodnim i/ili nepogodnim površinama za korištenje šumarskih vozila. U radu je prikazana analiza površinskih prepreka u GJ »Kupjački vrh«, NPŠO Zalesina, kao jedne od važnih značajki prometnosti terena koja ograničava kretnost skidera tijekom privlačenja drva. Površinske prepreke snimljene su postavljanjem uzorka od 319 primjernih ploha međusobna razmaka 100 m, veličine 10 x 10 m. Na svakoj je primjernoj plohi temeljem prikazane metodologije provedeno mjerenje visine i učestalosti površinskih prepreka. Površinske su prepreke raščlanjene s obzirom na pojavnost u četiri skupine: 1) pojedinačne, 2) rijetke, 3) srednje učestale, 4) učestale, odnosno u četiri visinska razreda: 1) H20 (10–30 cm), 2) H40 (31–50 cm), 3) H60 (51–70 cm) i H80 (> 71 cm). Analizom udjela površinskih prepreka, kutova i radijusa prohodnosti skidera, te ostalih dimenzijskih značajki (klirens vozila, radijus zakretanja i slično) određena su tri nova razreda prometnosti terena: 1) vozilo može prijeći preko površinskih prepreka (20,14 % površine GJ), 2) vozilo može zaobići površinske prepreke (24,54 % površine GJ) i 3) neprohodan teren – nužna izgradnja traktorskoga puta (54,16 % površine GJ).

⇒ Šporčić, M., M. Bakarić, H. Nevečerel, K. Lepoglavec, I. Papa, M. Landekić, A. Seletković: Sadašnje stanje šumarskoga poduzetništva u Hrvatskoj (*The current status of forestry entrepreneurship in Croatia*)

**Sažetak:** U radu se opisuje sadašnje stanje šumarskoga poduzetništva u Hrvatskoj. Daje se prikaz zakonskoga i institucionalnoga okvira za djelatnost privatnih poduzetnika u hrvatskom šumarstvu s posebnim naglaskom na licenciranje i ulogu Hrvatske komore inženjera šumarstva i drvne tehnologije. Objašnjavaju se aktivnosti, zadaci, organizacijska struktura i tijela Komore. Također se prikazuje model licenciranja zajedno s formalnim kriterijima i minimalnim uvjetima koje poduzetnici moraju ispuniti da bi dobili licenciju za izvođenje šumarskih radova. Profil



i strukturne karakteristike šumarskih poduzetnika prikazani su brojem, veličinom i oblikom organizacije tvrtki, vrstom šumarskih radova za koje su licencirani i obujmom radova koje obavljaju za državno šumarsko poduzeće Hrvatske šume d.o.o. Na kraju se rada navode neka promišljanja o perspektivi i mogućnostima unapređenja šumarskoga poduzetništva u Hrvatskoj.

⇒ Šušnjar M., Z. Pandur, D. Horvat, M. Bačić, M. Zorić: Mogućnost primjene vibracija pri procjeni stanja šumskih cesta (*Possibility of determining condition of forest road surface by vibrations*)

**Sažetak:** Šumske prometnice karakterizira nisko prometno opterećenje (Koczwański i Nowakowska-Moryl 1992, Fertal 1994) s obzirom na broj prolaza vozila, ali i na velike vrijednosti dodirnoga tlaka koji se javlja između kotača i šumske ceste, a prelazi 80 kN (Trzciński i Kaczmarzyk 2006), što uzrokuje oštećenja gornjega i donjega ustroja šumske ceste (Bayoglu 1997). Pravilnim se održavanjem šumskih cesta smanjuje negativan utjecaj na prirodne resurse te omogućuje njihovo dugoročno korištenje. Time se osiguravaju investicije uložene u planiranje i izgradnju mreže šumskih cesta. U svijetu postoji niz metoda za procjenu stanja kolničke konstrukcije koje se koriste u prvom redu za procjenu stanja javne prometnice, ali svoju

primjenu nalaze i u šumarstvu. Krishna Rao (2012) navodi metode procjene stanja (oštećenosti) kolničkih konstrukcija te ih dijeli na dvije skupine: subjektivne metode i objektivne metode. U ovom istraživanju stanje kolničke konstrukcije pokušalo se odrediti mjerenjem vibracija; stoga je cilj ovoga rada ustanoviti točnost izmjerenih podataka kako za znanstvenu tako i za praktičnu primjenu. Na osnovi prikupljenih podataka i dobivenih rezultata moguće je procijeniti stanje šumske ceste pomoću vibracija. Vrijednosti vibracija ovise o vrsti vozila (kamion ili osobni automobil), brzini kretanja, dok ne ovise o tlaku u gumama vozila. Nadalje, pri nižim brzinama kretanja vozila (manje od 60 km/h) brzina nema značajan utjecaj na vrijednost vibracija. Točnost prikupljanja podataka značajno ovisi o kvaliteti GPS-ova signala, stoga je preporučljivo svaku dionicu ceste koja se snima prijeći dva puta kako bi se sa sigurnošću potvrdio prostorni raspored oštećenja.

Ostali radovi i prezentacije mogu se u cijelosti pronaći na mrežnim stranicama Biotehničkoga fakulteta u Ljubljani i u idućem izdanju *Gozdarskoga vestnika* Biotehničkoga fakulteta Sveučilišta u Ljubljani.

Marin Bačić



# Međunarodni stručno-znanstveni skup »Zaštita na radu i zaštita zdravlja«, Zadar, 21. – 24. rujna 2016.

U Zadru je od 21. do 24. rujna 2016. godine održan 6. međunarodni stručno-znanstveni skup »Zaštita na radu i zaštita zdravlja«. Cilj je skupa bio pružanje i razmjena najnovijih informacija i postignuća iz izrazito multidisciplinarnih područja, kao što je zaštita na radu, zaštita zdravlja i sigurnost u zemlji i inozemstvu. Okupljanje stručnjaka iz područja sigurnosti i zaštite na radu potaknulo je Veleučilište u Karlovcu još 2006. godine u okviru prvoga ovakvoga stručno-znanstvenoga skupa.

Organizatori su ovogodišnjega skupa bili:

- ⇒ Veleučilište u Karlovcu (VUKA)
- ⇒ Hrvatski zavod za zaštitu zdravlja i sigurnosti u radu (HZZZSR)
- ⇒ Zavod za unapređivanje zaštite na radu (ZN-ZNR)
- ⇒ *Bio State University – Center for Health Policy* (Boise, Idaho, SAD)

Skup je održan u prostorima Resorta Borik u Zadru. U radu je skupa sudjelovalo oko 250 sudionika iz raznih djelatnosti, kao što su stručnjaci zaštite na radu, predstavnici medicine rada, predstavnici sindikata, predstavnici komora, predstavnici stručnjaka iz industrije i dr.

Održavanje stručno-znanstvenoga skupa obuhvatalo je sljedeće:

- ⇒ Zajednička uvodna (pozivna) predavanja
- ⇒ Izlaganja autora radova po sekcijama
- ⇒ Prezentacije postera i izlaganja autora kod postera
- ⇒ Prezentacije izložbe i opreme, mjernih i drugih uređaja
- ⇒ Okrugli stol.

U 11 sekcija održano je 147 izlaganja u dva dana savjetovanja, a prvi dan sudionici su se registrirali i Organizacijski je odbor održao sastanak. Zadnji je dan savjetovanja bio namijenjen za terensku ekskurziju u Šibenik i Nacionalni park Krka.

Prikazujemo ukratko podatke o radu sekcija s tematskim poglavljima te izdajamo naslove radova izloženih u pojedinim sekcijama koji su zanimljivi ili korisni za šumarstvo.

**Sekcija 1** obuhvatila je problematiku zdravstva s 8 izloženih radova.

**Sekcija 2** obuhvatila je problematiku zaštite na radu s ukupno 8 radova.



**Slika 1.** Izlaganje usmenih prezentacija i posterska sekcija

**Fig. 1** Oral presentations and poster session

Batak, M., I. Krišto, Lj. Ivić: Istraživanje nesreća i nezgoda na radu (*Accident and incident at work investigation*)

Deriš, E., I. Rešetar: Licenciranje stručnjaka zaštite na radu (*Occupational health and safety specialist – permanent education and licensing*)

Šarić, Z., A. Cesar Slegovac, S. Damjanović Dešić: Opasnosti i mjere zaštite kod rada u pilani (*Risks and protective measures in sawmill*)

**Sekcija 3** obuhvatila je problematiku vezanu uz tehničko-tehnološke čimbenike zaštite na radu i zaštite zdravlja s izloženih 7 radova.

Landekić, M., I. Martinić, M. Šporčić, M. Bakarić: Tehnike rada i mjere sigurnosti pri radu na stablima u urbanim sredinama (*Work technique and safety at work on trees in urban areas*)

**Sekcija 4** obuhvatila je multidisciplinarni aspekt s 8 izloženih radova.

**Sekcija 5** obuhvatila je ergonomiju s 8 izloženih radova:

Hursa Šajatović, A., Z. Dragčević, D. Zavec Pavlinić: Ergonomija – važan čimbenik u oblikovanju zaštitne odjeće, obuće i opreme (*Ergonomics – important factor in design of protective clothing, footwear and equipment*)

Ožura, M., M. Prahović, R. Kranjčec: Fizička opterećenja radnika pri radu motornom pilom (*Physical exertion of a worker / cutter while working with chain-saw*)

**Sekcija 6** obuhvatila je problematiku osobne zaštitne opreme i sredstava (8 radova).

**Sekcija 7** obuhvatila je problematiku zdravstva/zaštite na radu (7 radova).

**Sekcija 8** obuhvatila je problematiku društvenih i pravnih aspekata (8 radova).

Vedenik, L.: Usporedba zakonske regulative između Republike Hrvatske i Republike Slovenije u pravima i obvezama povjerenika radnika za zaštitu na radu (*Comparison of legal regulation between the Republic of Croatia and the Republic of Slovenia regarding the rights and obligations of the employees' work safety commissioner*)

**Sekcija 9** obuhvatila je problematiku zaštite od požara (8 radova).

Krnjetin, S., O. Krnjetin: Analiza zahvaćenih površina šumskim požarima i mogućnost njihovog matematičkog modelovanja (*Analysis-affected area of forest fires and the possibility of their mathematical modeling*)

Ožura, M., I. Grginčić, L. Vargović, G. Franković: Sektoriranje šumskih sastojina u svrhu kvalitetnije

protupožarne zaštite (*Forest fire sectors for attaining higher quality of forest fire prevention*)

**Sekcija 10** obuhvatila je problematiku multidisciplinarnog aspekta sa 6 radova.

**Sekcija 11** obuhvatila je problematiku ekologije sa 7 radova.

Mrdak, M., D. Megla: Proces procjene i tretmana rizika u sustavima upravljanja okolišem i zaštiti zdravlja zaposlenika (*Assessment and treatment of risks in environmental and occupational health & safety management systems*)

Osim navedenih sekcija održana je i posterska sekcija s ukupno 62 postera (slika 1). Također je održan i okrugli stol na temu: Liječnička svjedodžba/uvjerenje – problemi u praksi, u organizaciji Hrvatskoga zavoda za zaštitu zdravlja i sigurnost na radu.

Na savjetovanju je podnesen jedan znanstveni referat istraživača sa Šumarskoga fakulteta u Zagrebu, kojega se sažetak prikazuje u nastavku:

⇒ Landekić, M., I. Martinić, M. Šporčić, M. Bakarić: Tehnike rada i mjere sigurnosti pri radu na stablima u urbanim sredinama (*Work technique and safety at work on trees in urban areas*)

**Sažetak:** Uvodno se u radu obrazlažu sigurnosni aspekti rada šumskoga radnika pri održavanju drveća u urbanim sredinama s naglaskom na nedostatke vezane uz osposobljavanje, propisivanje organizacije rada i provedbe sigurnosnih mjera pri radu. U središnjem dijelu rada izlažu se ključni ulazi za odabir radne tehnike uz vizualizaciju shematskoga prikaza postupka odabira. Nastavno se razrađuju organizacijsko-sigurnosne mjere koje treba provoditi unutar radne zone te se navode opća pravila sigurnoga rada za tehniku orezivanja dijelova ili cijeloga stabala s tla i iz zraka. U završnom dijelu navode se primjeri dobre prakse drugih zemalja vezano uz osposobljavanje i certificiranje šumskih radnika za radne aktivnosti u urbanim sredinama. Zaključci se izvode vezano uz potrebe ciljanoga i specijalističkoga osposobljavanja šumskih radnika u području zaštite na radu i pravila sigurnoga rada, ali i nužnost specifičnoga planiranja i organizacije radilišta uključujući vođenje i nadziranja radnih procesa.

Svi izloženi radovi mogu se pronaći u zborniku savjetovanja: Zbornik radova, Book of Proceedings, 6. međunarodni stručno-znanstveni skup »Zaštita na radu i zaštita zdravlja« 21. – 24. rujan 2016., Zadar, Hrvatska. Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2016.

Matija Bakarić



# SADRŽAJ – CONTENTS

## Izvorni znanstveni radovi – *Original scientific papers*

### **Ivan Balenović, Hrvoje Marjanović**

- Odabir optimalne prostorne rezolucije fotogrametrijskih digitalnih modela površine za primjenu u šumarstvu – primjer s područja nizinskih šuma hrasta lužnjaka 1  
*Selection of the Optimal Spatial Resolution Image-Based Digital Surface Models for Use in Forestry – Example from the Area of Lowland Oak Forests*

### **Ante Seletković, Marija Perić, Ivan Balenović**

- Fotogrametrijska procjena srednjih sastojinskih visina odvojeno po vrstama drveća u mješovitim sastojinama središnje Hrvatske 15  
*Photogrammetric Estimation of the Mean Stand Heights Separated by Tree Species in Mixed Forests of Central Croatia*

### **Petr Hruza, Petr Pelikán, Jaroslav Blahuta, Jiří Nedorost, Zdeněk Patočka**

- A Structural Reinforcement Layer with Woodchips Used on Forest Roads 25  
*Mogućnost uporabe prosušene drvene sječke pri mehaničkoj stabilizaciji donjega ustroja šumskih cesta*

### **Dino Friščić, Tomislav Poršinsky, Željko Zečić, Dinko Vusić**

- Analiza utjecajnih čimbenika pri mehaniziranoj izradi kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva 37  
*Analysis of Factors Affecting Mechanized Production of Chopped Firewood*

### **Marijan Šušnjaj, Zdravko Pandur, Marin Bačić, Marko Zorić**

- Raspodjela mase tovara i osovinskoga opterećenja šumskih kamionskih skupova pri prijevozu jelova celuloznoga drva 47  
*Distribution of Load Masses and Axle Loads on Forest Truck Units during Transport of Fir Pulpwood*

## Pregledni članci – *Subject reviews*

### **Hrvoje Nevečerel, Kristina Pavešić, Iva Murgić, Ivica Papa, Matija Landekić, Kruno Lepoglavec**

- Mogućnosti primjene gabiona 59  
*Possibilities of application of gabions*

### **Valerie Findeis**

- An Overview of Forest Management in Austria 69  
*Pregled gospodarenja šumama u Republici Austriji*

## Stručni rad – *Professional Paper*

### **Stjepan Posavec, Željko Zečić, Karlo Beljan, Nenad Šimunović**

- Izračun profitabilnosti i optimizacija kogeneracijskoga postrojenja korištenjem drvene sječke 77  
*Calculation of Profitability and Optimization of Cogeneration Plant Using Wood Chips*

## Osvrti – *Comments*

### **Željko Šantek**

- Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu domaćin sastanka Ekspertnoga tima za energiju drva UNECE/FAO-a 87

### **Kruno Lepoglavec**

- Drugi hrvatski festival kiparenja motornom pilom 91

### **Andreja Đuka**

- Međunarodno znanstveno savjetovanje FORMEC 2016 93

### **Marin Bačić**

- Međunarodno znanstveno savjetovanje »Gozdarsko inženirstvo jugovzhodne Evrope – stanje in izzivi«, Planica, Slovenija, 21. – 23. rujna 2016. 97

### **Matija Bakarić**

- Međunarodni stručno-znanstveni skup »Zaštita na radu i zaštita zdravlja«, Zadar, 21. – 24. rujna 2016. 101

ISSN 1845-8815

