

UDK: 630*3

ISSN 1845-8815

NOVA

MEHANIZACIJA

ŠUMARSTVA

NOVA
MEHANIZACIJA



ŠUMARSTVA

Nova meh. šumar.

Godište (Volume) 35

2014



 **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)

Milan Oršanić, Renata Pernar, Tibor Pentek, Ivan Pavelić, Ivan Istok (all from Croatia)

Uredničko vijeće (Editorial Board)

Igor Anić, Saša Bogdan, Jura Čavlović, Vlado Goglia, Boris Hrašovec, Anamarija Jazbec, Ante P. B. Krpan, Josip Margalešić, Slavko Matić, Milan Oršanić, Renata Pernar, Dragutin Pižman, Marinko Prka, Stjepan Risović, Igor Stankić, Marijan Šušnjara, Željko Zečić (all from Croatia)

Međunarodno uredničko vijeće (International Editorial Board)

Raffaele Cavalli (Italy), Woodam Chung (USA), Sophie D. Amours (Canada), Mehmet Eker (Turkey), Jörn Erler (Germany), Gergely Markó (Hungary), Hans Rudolf Heinemann (Switzerland), Dirk Jaeger (Germany), Radomir Kvač (Czech Republic), Boštjan Košir (Slovenia), Tadeusz Moskalik (Poland), Igor Potočnik (Slovenia), Hideo Sakai (Japan), Raffaele Spinelli (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 urednici (Editors-in-Chief)

Tibor Pentek, Tomislav Poršinsky

Odgovorni urednik (Editor)

Željko Tomašić

Tehnički urednik (Technical Editor)

Mario Šporčić

Mladi urednik (Junior Editor)

Ivica Papa

Savjetnik uredništva (Editorial Advisor)

Dubravko Horvat

Tehničko uredništvo (Technical Editorial Board)

Kruno Lepoglavec, Dinko Vusić, Matija Landekić

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)

30. 04. 2014.

Sadržaj – Contents

Znanstveni radovi – Research articles

Tomislav Poršinsky, Andreja Đuka, Ostoja Busić

Utjecaj propisnosti mjerenja oblovine na transport drva

Influence of Prescribed Method of Roundwood Scaling on Timber Transport

1

Milorad Danilović, Dušan Stojnić, Slavica Karić, Milan Sučević

Transport of Technical Roundwood by Forwarder and Tractor Assembly from Poplar Plantations

Transport tehničke oblovine pomoću forvardera i traktorske ekipe iz topolovih plantaža

11

Zdravko Pandur, Tomislav Poršinsky, Marijan Šušnjara, Marko Zorić, Dinko Vusić

Gaženje tla pri izvoženju drva forvarderom u sječinama hrasta lužnjaka

Soil Disturbance during Timber Forwarding in Cut-Blocks of Common Oak

23

Milorad Danilović, Dragomir Grujović, Boban Milovanović, Slavica Karić

Ocjena modificirane poludeblovne metode listača s dijelovima krošnje

Evaluation of Modified Half-Tree Length Method of Broadleaves with Crown Parts

35

Dane Marčeta, Vladimir Petković, Boštjan Košir

Comparison of Two Skidding Methods in Beech Forests in Mountainous Conditions

Usporedba dviju metoda privlačenja drva u bukovim brdsko-planinskim šumama

51

Tibor Pentek, Hrvoje Nevečerel, Tomislav Ećimović, Kruno Lepoglavec, Ivica Papa, Željko Tomašić

Strategijsko planiranje šumskih prometnica u Republici Hrvatskoj – raščlamba postojećega stanja kao podloga za buduće aktivnosti

Strategic Planning of Forest Road Network in Croatia – Analysis of Present Situation as Basis for Future Activities

63

Vladimir Petković, Dane Marčeta, Igor Potočnik

Horizontal and Vertical Alignments of Forest Roads

Horizontalni i vertikalni konstruktivni elementi šumskih cesta

79

Marko Zorić, Marijan Šušnjara, Zdravko Pandur, Kristijan Mihaljević

Potrošnja goriva i emisija stakleničkih plinova pri kamionskom prijevozu drva

u hrvatskom šumarstvu

Fuel Consumption and Greenhouse Gas Emission in Timber Haulage in Croatian Forestry

89

Ljupčo Nestorovski, Mitko Nacevski, Zdravko Trajanov, Pande Trajkov

Analysis of Energy Value of Some Tree Species

Analiza energijskih vrijednosti nekih vrsta drveća

99

Fotografija na naslovnici (Cover photo)

Sanacija šteta nakon ledoloma u Gorskom kotaru (Snimio: Z. Štimac)

Recovering from Snow and Ice Storm Damage in Gorski Kotar (Photo: Z. Štimac)

Uz izdavače časopis sufinancira Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske
Co-financed by Ministry of Science, Education and Sport of Republic of Croatia

Pretplata: 150 kn godišnje (tuzemno plaćanje)

Primatelj: Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu,

p.p. 422, HR-10002 Zagreb

Žiroračun: 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

Utjecaj propisnosti mjerenja oblovine na transport drva

Tomislav Poršinsky, Andreja Đuka, Ostoja Busić

Nacrtak – Abstract

U trgovini drvom u hrvatskom se šumarstvu oblo drvo najčešće otprema po obujmu u skladu s odredbama norme (HRN EN 1309-2:2006) pri čemu dolazi do gubitaka obujma zbog propisanoga načina: 1) mjerenja duljine, 2) mjerenja srednjega promjera, 3) odbitka dvostruke debljine kore te 4) izraza za izračun obujma obloga drva.

Analiza utjecaja načina iskaza tereta (stvarni obujam, masa, deklarirani – reducirani obujam zbog propisnosti mjerenja drva) na proizvodnost i jedinične troškove forvardera Valmet 840.2 u odnosu na udaljenost izvoženja drva provedena je prema višekriterijskom modelu izračuna proizvodnosti tih vozila (Stankić i dr. 2012).

Istraživanje je zasnovano na pet različitih tereta (hrast lužnjak) forvardera, koji su se međusobno razlikovali s obzirom na: 1) vrstu utovarenih sortimenata (trupci, višemetarsko ogrjevno drvo, mješoviti tovar), 2) količinu utovarenoga drva (puna visina utovarnoga prostora, $<2/3$ visine utovarnoga prostora, $<1/3$ visine utovarnoga prostora vozila). Osim vaganja radi utvrđivanja mase tereta, mjerena je i oblovina unutar tereta, što je obuhvatilo: 1) mjerenje duljine na centimetar točnosti i 2) mjerenje promjera na debljem i tanjem kraju te na sredini duljine oblovine. Stvarni (bruto) obujam pojedinoga komada oblovine (tereta) izračunat je Reicke–Newtonovim izrazom, a neto u skladu s odredbama norme (HRN EN 1309-2:2006) Huberovim izrazom.

Razlike u proizvodnosti, iskazane s obzirom na bruto obujam i masu tereta, zanemarive su ($<1\%$) zbog djelovanja gustoće oblovine hrasta lužnjaka $995,8 \pm 2,5 \text{ kg/m}^3$.

Proizvodnost forvardera, iskazana prema neto obujmu tereta, manja je u rasponu od 3,5 % do 24,3 % u odnosu na bruto obujam tereta. Polučeni rezultati uvojetovani su vrstom i dimenzijama utovarenih sortimenata te količinom utovarenoga drva.

Način iskaza obujma oblovine ili tereta ima različit utjecaj na sudionike u lancu dobave drva i u tom smislu čini jasnu razliku između transporta i trgovine drvom.

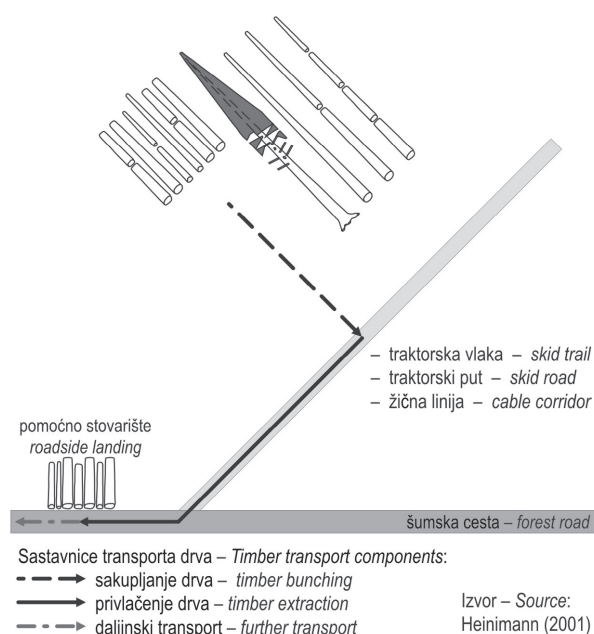
Ključne riječi: propisnost mjerenja oblovine, masa, obujam, forvarder

1. Uvod – Introduction

Transport je drva micanje stabala ili dijelova stabala s jednoga na drugo mjesto u prostoru, a obuhvaća sve oblike kretanja drva iz šume (panj) do krajnjega korisnika, pri čemu su osnovni čimbenici teret (drvo) – transportna sredstva (najčešće vozila) – mreža transportne infrastrukture u znakovitom međudjelovanju. Nakon sječe stabala (i) izradbe drva, drvo (ili drvni sortimenti – ovisno o metodi izradbe) razasuto je po velikoj površini te ga treba prvo sakupiti i privući po šumskom bespuću do pomoćnoga stovarišta, a zatim

transportirati do pogona primarne prerade. Analizirajući transport drva kroz povijest, Greulich (2002) zaključuje da se, neovisno o autorima, sve teorije transporta drva zasnivaju na dvjema međuovisnim podfazama (slika 1):

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



Slika 1. Transport drva

Fig. 1 Timber transport

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

S obzirom na to da je transport drva rad cikličnoga karaktera, osnovni utjecajni čimbenici njegove djelotvornosti su udaljenost i količina drva koja se transportira u jednom turnusu (Conway 1976, MacDonald 1999, Silversides i Sundberg 1989, Staff i Wiksten 1984).

Pri stavljanju obloga drva u promet, drvo je moguće mjeriti prema obujmu, odnosno masi. Mjerenje drva po masi pod utjecajem je trenutačne vlažnosti drva, a najčešće se rabi pri otpremi ogrjevnoga drva.

Izmjera količine obloga drva prema obujmu (HRN EN 1309-2:2006) zasniva se na izmjeri dimenzija (promjer i duljina) pojedinačnih komada (m^3), odnosno na izmjeri dimenzija (duljina, visina i širina) složaja drva (prm). Obujam obloga drva koji odgovara obujmu složaja može se dobiti primjenom odgovarajućega pretvorbenoga faktora. Pretvorba je nepouzdana zbog razlika u vrsti složaja, položaju trupaca u složaju, udjelu prvih trupaca (peraca), srednjih promjera, zakrivljenosti i zadebljanja, kore te vrste drva (Fonseca 2005).

Propisani način mjerenja pojedinačnih komada obloga drva (HRN EN 1309-2:2006) u hrvatskom se šumarstvu zasniva na izmjeri:

- ⇒ najkraće duljine koja je određena kao udaljenost između dviju paralelnih površina na krajevima obloga drva okomito na uzdužnu os, izražena u metrima te zaokružena na puni decimetar naniže,

- ⇒ dvaju međusobno okomitih promjera s korom na sredini duljine izrađene oblovine zaokruženih na puni centimetar naniže, a njihova se aritmetička sredina, isto tako, zaokružuje na puni niži centimetar,
- ⇒ kod oblovine, gdje je promjer bez kore relevantan za određivanje dimenzija i klase kakvoće (trupci), mjereni se promjer mora umanjiti za dvostruku debljinu kore,
- ⇒ za izračun obujma služi Huberov izraz, gdje je Ludolfof broj (π) zaokružen na 4 decimalna mjesta (3,1416), a rezultat se izkazuje u kubnim metrima na tri decimalna mjesta.

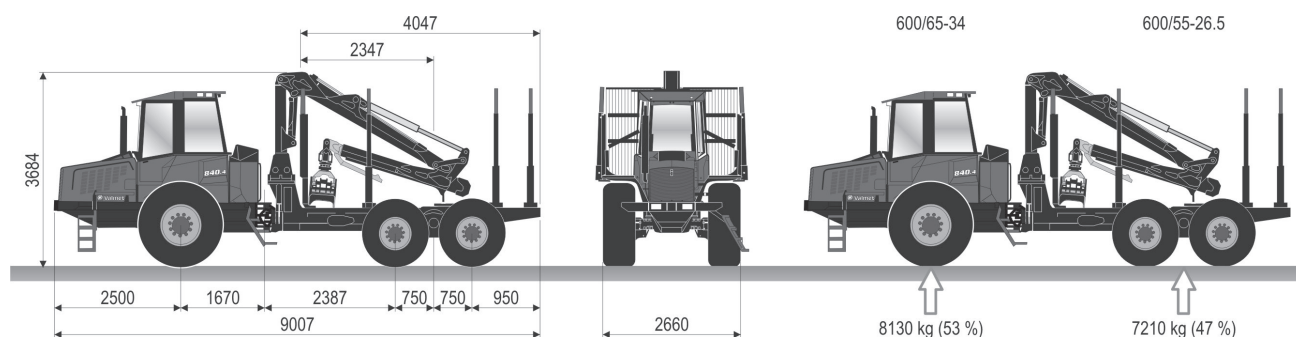
Paradoks nastaje kada se proizvodnost i troškovi rada sredstva transporta drva iskazuju s obzirom na propisani način mjerenja obloga drva po obujmu zbog gubitka: 1) mjerenja duljine, 2) mjerenja srednjega promjera, 3) odbitaka kore te 4) primjene izraza za izračun obujma obloga drva.

Ovaj će se rad baviti usporedbom djelotvornosti forvardera s obzirom na način iskaza tereta: 1) stvarnoga (bruto) obujma, 2) deklariranoga (neto) obujma, 3) mase tereta.

2. Materijal i metode – *Material and Methods*

Analiza utjecaja triju načina iskaza transportiranoga tereta (masa, stvarni obujam, deklarirani obujam) na djelotvornost (proizvodnost i jedinične troškove) izvoženja drva forvarderom provedena je na primjeru srednje teškoga šestokotačnoga forvardera Valmet 840.2, nominalne nosivosti 12 t, čije su gabaritne dimenzije i raspored opterećenja nenatovarenoga vozila prikazane na slici 2. Ploština je poprečnoga presjeka utovarnoga prostora $4,1 m^2$, a duljina 4 m. Vozilo pokreće šestocilindarski dizelski motor s prednabijanjem, nazivne snage 125 kW pri $2200 min^{-1}$ i 670 Nm najvećega momenta pri $1400 min^{-1}$. Forvarder je opremljen hidrauličnom dizalicom Cranab CFR7C, podizne sile 7,1 kN pri najvećem doseg od 9,1 m. Vozilo je opremljeno gumama dimenzija 600/65-34 (prednje) i 600/55-26.5 (stražnje).

Podaci o pet različitim tereta (hrast lužnjak) forvardera preuzeti su iz prethodnoga istraživanja (Bosner i dr. 2008) koje je provedeno radi razvoja i umjeravanja prijenosnoga sustava za mjerenje osovinskih opterećenja vozila. Za svaki od pojedinih tovara osovinska opterećenja šestokotačnoga forvardera Valmet 840.2 mjerena su pomoću prijenosnoga sustava vaga WLS 101/R2K (BARK System-und Wiegetechnik GmbH & CO.KG) koje rade na električno-mehaničkom principu, podnose



Slika 2. Forvarder Valmet 840.2

Fig. 2 Valmet 840.2 Forwarder

opterećenje od 10 t po vagi (ukupno 20 t), a otpornost na lomljenje iznosi 150 % najvećega opterećenja.

Osim vaganja radi utvrđivanja mase vozila, odnosno svakoga pojedinoga tereta, mjerena je i oblovinu u teretu, što je obuhvatilo: 1) mjerenje duljine na centimetar točnosti, 2) mjerenje promjera na debljem i tanjem kraju te na sredini duljine oblovine.

Stvarni (bruto) obujam tereta izračunat je na osnovi duljine oblovine koja je mjerena na centimetar točnosti i izmjere promjera na debljem i tanjem kraju te na sredini duljine oblovine bez odbijanja dvostruke debljine kore, pri čemu je obujam izračunat po Reicke–Newtonovu izrazu, za koji Sertić (2012) utvrđuje da je najtočniji u odnosu na obujam oblovine utvrđen metodom sekcioniranja.

Deklarirani (neto) obujam oblovine (tereta) radi stavljanja drva u promet pri trgovini drvom izmjeren je u skladu s propisanim načinom mjerenja i iskaza obujma obloga drva u hrvatskom šumarstvu sukladno s normom HRN EN 1309-2:2006. Navedeno je obuhvatilo izračun obujma oblovine temeljem Huberove formule, na osnovi mjerenja najkraće duljine oblovine zaokružene na puni decimetar naniže te dva unakrsna promjera na sredini duljine oblovine zaokružena na puni centimetar naniže. Za trupce, za koje je promjer bez kore relevantan za određivanje dimenzija i klase kakvoće, zaokruženi srednji promjeri umanjani su za dvostruku debljinu kore primjenom odbitka za hrast lužnjak: 2 cm za oblovinu promjera 12 cm do 30 cm, 3 cm za oblovinu promjera 31 cm do 39 cm, 4 cm za oblovinu promjera > 40 cm.

Utjecaj triju načina iskaza transportiranoga tereta (masa, stvarni obujam, deklarirani obujam) na djelotvornost forvardera u odnosu na udaljenost izvoženja drva iskazan je prema višekriterijskom modelu izračuna proizvodnosti tih vozila (Stankić 2010, Stankić i dr. 2012), koji uzima u obzir: 1) klasu forvardera, 2) nosivost tla, 3) opremljenost forvardera gusjenicama, 4)

sječnu gustoću, 5) obujam srednjega sječivoga stabla te 6) udaljenost izvoženja drva. Jedinичni trošak izvoženja drva izračunat je na osnovu kalkulacije troška trgovačkoga društva »Hrvatske šume« d.o.o Zagreb za forvarder Valmet 840.2 u iznosu od 452,13 kn/h.






3. Rezultati – Results

Simulaciju različitih situacija koje se mogu dogoditi pri izvoženju drva forvarderom čini pet analiziranih tereta (slika 3). Prvi, drugi i treći teret kombinacija je nominalno natovarenoga forvardera (masa tereta < 12 t), a četvrti i peti teret simulacija je smanjenja tereta zbog ograničene nosivosti tla šumskoga bespuća koja je prisutna u hrvatskim nizinskim šumama tijekom cijeloga razdoblja glavnoga prihoda drva (Horvat i dr. 2004, Poršinsky i dr. 2012). Svaki se pojedini teret sastojao od različitoga broj komada oblovine s obzirom na:

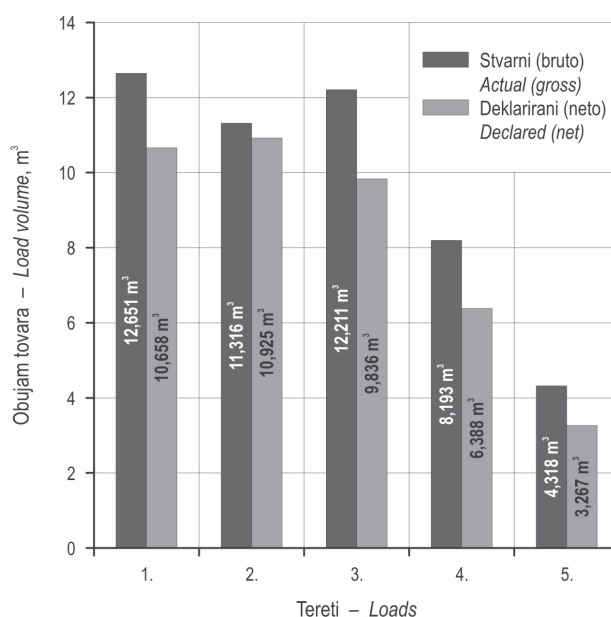
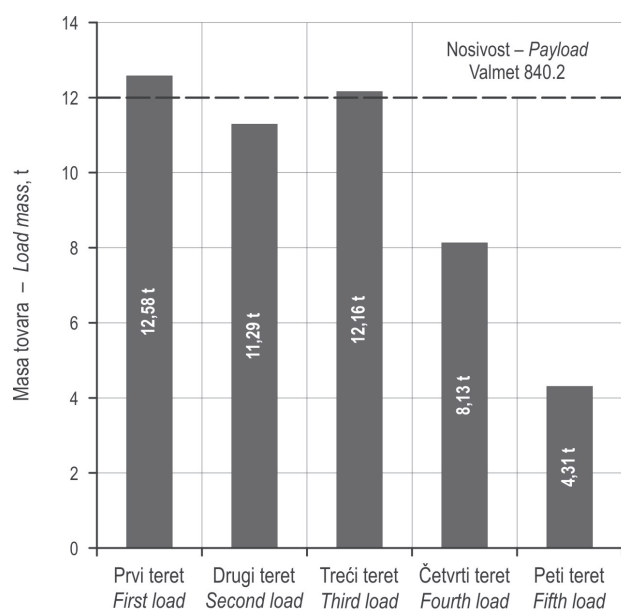
- ⇒ vrstu i dimenzije sortimenata (tehnička oblovinu, ogrijevno višemetarsko drvo, mješoviti tovar),
- ⇒ količinu utovarenoga drva (puna visina utovarnoga prostora, <2/3 visine utovarnoga prostora, <1/3 visine utovarnoga prostora vozila).

Usporedba mase i obujma istraživanih tereta prikazana je na slici 4. Vrijednosti mase analiziranih tereta forvardera manje su < 1 % u odnosu na vrijednosti stvarnih obujama tereta, što je posljedica čvrste povezanosti tih dvaju parametara kao fizikalnih veličina zbog konstantne gustoće drva, koja se kod istraživanih tereta kretala u uskom rasponu vrijednosti od 992,4 kg/m³ do 998,1 kg/m³, odnosno prosječno 995,8 ± 2,5 kg/m³.

Zbog propisnosti mjerenja pojedinačnih komada oblovine deklarirani (neto) obujam tereta manji je od stvarnoga (bruto) obujma za 15,75 % (1. teret), 3,46 % (2. teret), 19,45 % (3. teret), 22,03 % (4. teret) i 24,36 % (5. teret). Na izražene vrijednosti redukcije obujma deklariranih tereta značajan utjecaj ima:

	1. teret – 1 st load Puna visina tovarnoga prostora Full height of loading area – trupci i višemet. ogrjevno drvo – – logs and long fuelwood –	2. teret – 2 nd load Puna visina tovarnoga prostora Full height of loading area – višemetarsko ogrjevno drvo – – long fuelwood –	3. teret – 3 rd load Puna visina tovarnoga prostora Full height of loading area – trupci – – logs –	4. teret – 4 th load Do 2/3 visine tovarnoga prostora Up to 2/3 height of loading area – trupci – – logs –	5. teret – 5 th load Do 1/3 visine tovarnoga prostora Up to 1/3 height of loading area – trupci – – logs –
					
Masa tereta, kg Load mass, kg	12580	11295	12160	8130	4310
Stvarni (bruto) obujam, m ³ Actual (gross) volume, m ³	12,651	11,316	12,211	8,193	4,318
Deklarirani (neto) obujam, m ³ Declared (net) volume, m ³	10,658	10,925	9,836	6,388	3,267
Oblovine u tovaru, kom. No. of roundwood in the load, psc.	21	40	17	11	5
Gustoća drva, kg/m ³ Timber density, kg/m ³	994,4	998,1	995,8	992,4	998,1
Prosječan obujam oblovine, m ³ /kom. Average roundwood volume, m ³ /pcs.	0,602	0,283	0,718	0,745	0,864
Prosječna zakrivljenost oblovine, cm/m Average roundwood sweep, cm/m	0,8 ± 0,9	1,8 ± 2,3	0,4 ± 0,7	0,6 ± 0,8	0,7 ± 1,0

Slika 3. Podaci mjerenja različitih tereta forvardera
Fig. 3 Data of measuring different forwarder loads



Slika 4. Usporedba mase i obujma tereta forvardera

Fig. 4 Comparison of forwarder load mass and volume

- ⇒ vrsta sortimenta, što je posebno izraženo kod drugoga tereta koji se u potpunosti sastojao od višemetarskoga ogrjevnoga drva, odnosno kod prvoga tereta kojega je s 18 % stvarnoga obujma činilo ogrjevno drvo,
- ⇒ zakonitost obujma komada koja predstavlja međudjelovanje dimenzija izrađene oblovine u utovarnom prostoru forvardera, s iskazanim utjecajem ($> 0,7 \text{ m}^3/\text{kom.}$) kod trećega, četvrtoga i petoga tereta, kojega su u potpunosti činili trupci,
- ⇒ udjel prvih trupaca izrađenih iz debla (perci), kod kojih je zbog njihove nepravilnosti oblika značajna razlika u izračunu obujma Huberovim, odnosno Reicke-Newtonovim izrazom (Sertić 2012).

Na osnovi podataka izmjere tereta, odnosno dimenzija utovarene oblovine provedena je i analiza iskoristivosti utovarnoga prostora forvardera s obzirom na: 1) masu tereta, 2) obujam utovarnoga prostora, 3) površinu poprečnoga presjeka utovarnoga prostora te 4) duljinu utovarnoga prostora (slika 5).

Iskoristivost utovarnoga prostora treba promatrati kroz količinu, ali i dimenzije utovarene oblovine, pri čemu dolazi do izražaja zakonitost obujma komada (promjer i duljina utovarene oblovine), ali i nepravilnost (zakrivljenost) obloga drva, što je vidljivo pogotovo kod trećega tereta koji se isključivo sastojao od višemetarskoga ogrjevnoga drva.

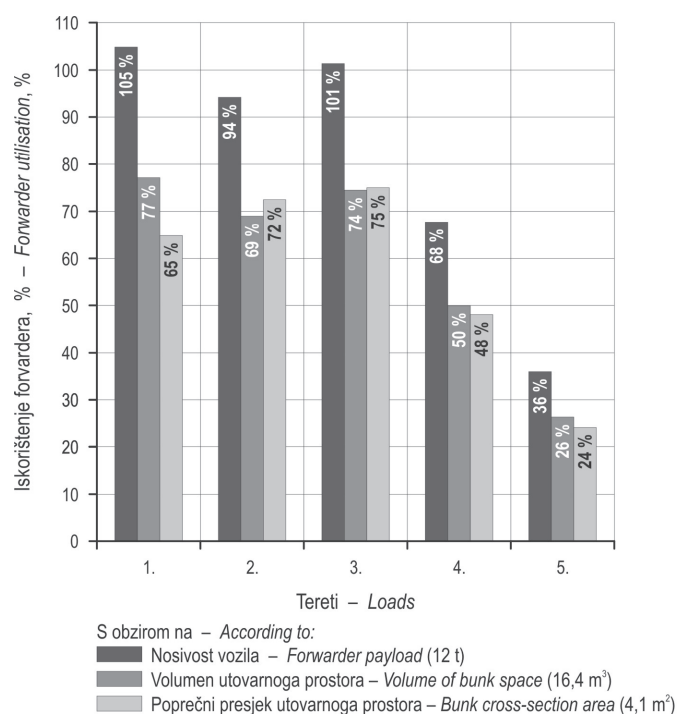
Pri izračunu proizvodnosti forvardera uzete su u obzir sljedeće pretpostavke koje zahtijeva višekriterijski

model izračuna proizvodnosti ovih vozila (Stankić 2010, Stankić i dr. 2012):

- ⇒ srednje teški forvarder bez korištenja polugusjenica,
- ⇒ za prva su tri tereta korištene vrijednosti prosječne brzine kretanja neopterećenoga i opterećenoga vozila po tlu dobre nosivosti ($3,71 \text{ km/h}$),
- ⇒ za četvrti i peti teret korištene su vrijednosti prosječne brzine kretanja neopterećenoga i opterećenoga vozila po tlu ograničene nosivosti ($3,01 \text{ km/h}$),
- ⇒ proizvodnost i jedinični troškovi za svaki teret prikazani su u ovisnosti o udaljenosti izvoženja drva po šumskom bespuću (raspon od 100 do 800 m),
- ⇒ za sve terete uzeta je ista udaljenost kretanja forvardera po pomoćnom stovarištu (50 m) s istom prosječnom brzinom kretanja neopterećenoga i opterećenoga vozila ($4,35 \text{ km/h}$),
- ⇒ za sve toware uzeta je ista sječna gustoća ($150 \text{ m}^3/\text{ha}$),
- ⇒ za izračun utroška vremena utovara i istovara drva nije korištena izvorna ovisnost iz algoritma, već je korišten broj komada drva u tovaru (slika 3).

Važnost načina iskaza tereta (stvarnoga obujma, deklariranoga obujma i mase tereta) na djelotvornost rada forvardera (proizvodnost i jedinične troškove izvoženja drva) prikazana je usporedno na slici 6.

Gustoća oblovine hrasta lužnjaka ($995,8 \pm 2,5 \text{ kg/m}^3$) utjecala je na zanemarive razlike u iskazu proizvodnosti i jediničnih troškova s obzirom na to jesu li tereti



Slika 5. Usporedba iskoristivosti utovarnoga prostora forvardera

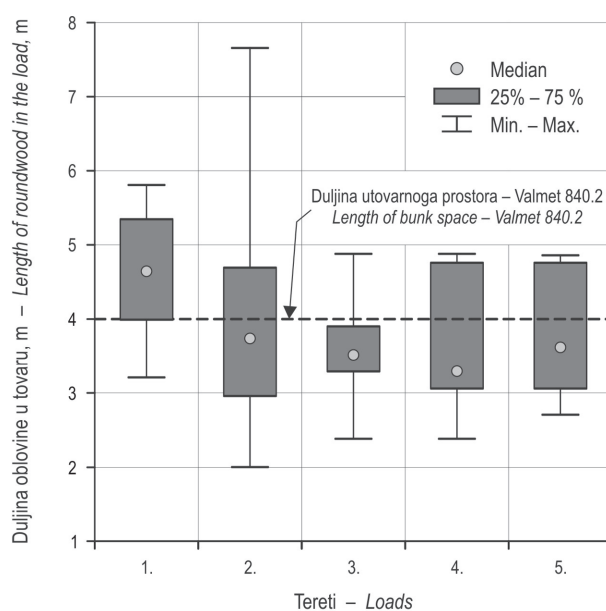
Fig. 5 Comparison of utilization of forwarder bunk space

iskazani prema masi (slika 6A) ili stvarnom obujmu (slika 6B).

Propisnost mjerenja pojedinačnih komada oblovine utjecala je na pad proizvodnosti forvardera, što je iskazano s obzirom na deklarirani (neto) obujam tereta (slika 6C) u odnosu na proizvodnost forvardera iskazanu sa stvarnim (bruto) obujmom tereta (slika 6B), na indentičan način kao i smanjenje vrijednosti deklariranoga obujma tereta koji je manji od stvarnoga obujma za 15,75 % (1. teret), 3,46 % (2. teret), 19,45 % (3. teret), 22,03 % (4. teret), te 24,36 % (5. teret).

Također, propisnost mjerenja pojedinačnih komada oblovine utjecala je na rast jediničnih troškova izvoženja drva forvarderom, što je iskazano s obzirom na deklarirani (neto) obujam tereta (slika 6C). Ti su troškovi viši od jediničnih troškova rada forvardera iskazanih stvarnim (bruto) obujmom tereta (slika 6B) za 18,70 % (1. teret), 3,58 % (2. teret), 24,15 % (3. teret), 28,26 % (4. teret), te 32,17 % (5. teret).

Neovisno o načinu iskaza tereta (slika 6), utvrđeni široki rasponi proizvodnosti i jediničnih troškova rada forvardera u ovisnosti o udaljenosti izvoženja drva posljedica su međudjelovanja utroška vremena kretanja (ne)opterećenoga vozila te utovara i istovara drva, odnosno veličine tereta (Poršinsky 2002, Poršinsky 2005, Poršinsky i Stankić 2006). Očito da smanjenje količine utovarenoga drva snažno utječe na djelotvornost rada

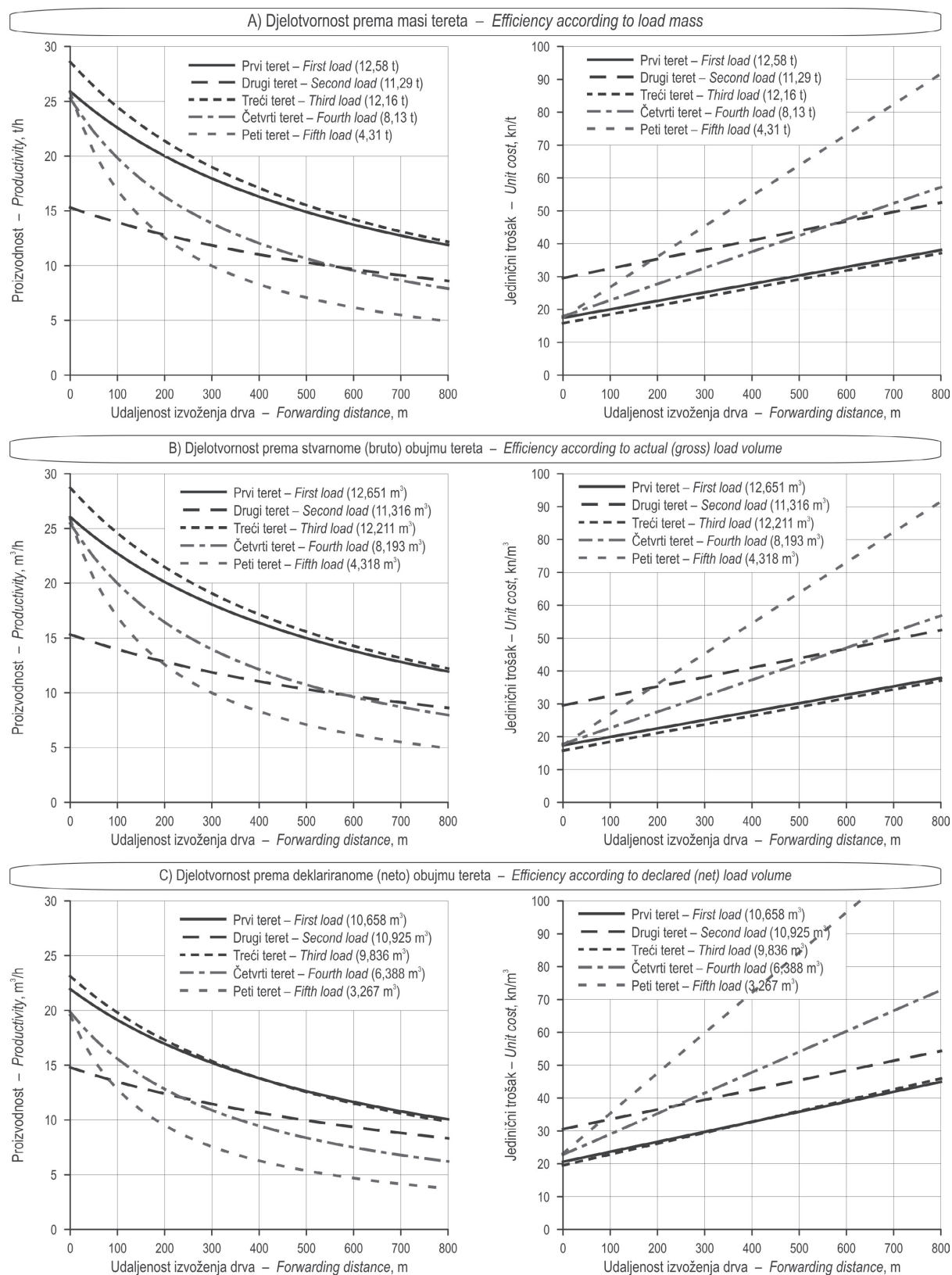


forvardera (pogotovo povećanjem udaljenosti izvoženja drva) te s ekonomskoga gledišta svakako nije prihvatljiva metoda osiguranja kretnosti forvardera u uvjetima ograničene nosivosti podloge hrvatskih nizinskih šuma (Poršinsky i dr. 2011).

4. Umjesto zaključaka - Instead of conclusions

Jasno je da su transport drva i trgovina drvom dva različita pojma sa stajališta iskaza obujma oblovine ili tereta, ali i s različitim utjecajem na sudionike u lancu dobave drva. Rezultati provedenoga istraživanja otvaraju cijeli niz pitanja na koja je jednoznačno teško naći odgovore:

- ⇒ Jesu li šume tako bogat resurs da možemo dopustiti stavljanje obujma tereta u kontekstu transporta i trgovine drvom pod isti zajednički nazivnik?
- ⇒ Postoje li zapreke promjeni poimanja zajedničkoga nazivnika (koje i tko)?
- ⇒ Što znači podizanje troška transporta drva za razliku stvarnoga i deklariranoga obujma tereta (obloga drva) sa stajališta sudionika u lancu dobave drva (šumovlasnika, izvođača šumskih radova, kupaca drva, ali i u kontekstu naknade za korištenje šumskih cesta njihovim vlasnicima)?



Slika 6. Usporedba djelotvornosti forvardera s obzirom na različite načine iskaza tereta

Fig. 6 Comparison of forwarder efficiency according to different load measurements

5. Literatura – References

- Bosner, A., S. Nikolić, Z. Pandur, D. Benić, 2008: Razvoj i umjeravanje prijenosnoga sustava za mjerenje osovinskih opterećenja vozila – mjerenja na forvarderu. *Nova meh. šumar.*, 29: 1–15.
- Busić, O., 2011: Utjecaj propisanoga načina mjerenja obloga drva na djelotvornost forvardera, Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–25.
- Conway, S., 1976: *Logging practices. Principles of timber harvesting systems.* Miller Freeman Publications, 1–432.
- Fonseca, M. A., 2005: *The Measurement of Roundwood: Methodologies and Conversion Ratios.* CABI Publishing, 1–267.
- Greulich, F., 2002: *Transportation Networks in Forest Harvesting: Early Development of the Theory.* Proceedings of the International Seminar on New Roles of Plantation Forestry Requiring Appropriate Tending and Harvesting Operations, September 29 – October 5, 2002, The Japan Forest Engineering Society & IUFRO 3.04/3.06/3.07, Tokyo, Japan, 1–9.
- Heinimann, H. R., 2001: *Verfahrenstechnik III – Analyse, Gestaltung und Steuerung technischer Produktionssysteme.* D-FOWI, Forstliches Ingenieurwesen, 1–25. (<http://www.fowi.ethz.ch/piw/teach/>)
- Horvat, D., T. Poršinsky, A. P. B. Krpan, T. Pentek, M. Šušnjar, 2004: Ocjena pogodnosti forvardera morfološkom raščlambom. *Strojarstvo* 46 (4–6): 149–160.
- HRN EN 1309–2:2006: *Oblo i piljeno drvo – Metoda mjerenja dimenzija – 2. dio: Oblo drvo – Zahtjevi za pravila proračuna mjera i volumena (EN 1309–2:2006)*, 1–20.
- MacDonald, A. J., 1999: *Harvesting Systems and Equipment in British Columbia.* FERIC, Handbook No. HB-12, 1–197.
- Poršinsky, T., 2002: Čimbenici proizvodnosti forvardera Timberjack 1210 pri izvoženju obloga drva glavnoga prihoda hrvatskih nizinskih šuma. *Glasnik za šumske pokuse*, 38: 103–132.
- Poršinsky, T., 2005: *Djelotvornost i ekološka pogodnost forvardera Timberjack 1710B pri izvoženju oblovine iz nizinskih šuma Hrvatske.* Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–170.
- Poršinsky, T., I. Stankić, 2006: *Djelotvornost forvardera Timberjack 1710B pri izvoženju oblovine iz nizinskih šuma Hrvatske.* Glasnik za šumske pokuse, posebno izdanje, 5: 573–587.
- Poršinsky, T., I. Stankić, A. Bosner, 2011: *Djelotvorno i okolišno prihvatljivo izvoženje drva forvarderom temeljem analize nominalnoga tlaka na podlogu.* *Croat. j. for. eng.* 31(1): 345–356.
- Poršinsky, T., T. Pentek, A. Bosner, I. Stankić, 2012: *Ecoefficient Timber Forwarding on Lowland Soft Soils.* In: *Global Perspectives on Sustainable Forest Management* (ed.: C. A. Okia), In Tech, 275–288.
- Silversides, C. R., U. Sundberg, 1989: *Operational Efficiency in Forestry – Volume 2: Practice.* Kluwer Academic Publishers – Forest Sciences, Dodrecht/Boston/Lancaster, 1–169.
- Sertić, M., 2012: *Gubici obujma na prvom trupcu hrasta kitnjaka (Quercus petraea /Matt./ Liebl.) zbog propisanog načina mjerenja.* Magistarski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–99.
- Staff, K. A. G., N. A. Wiksten, 1984: *Tree harvesting Techniques.* Martinus Nijhoff/DR W. Junk Publishers, Dodrecht/Boston/Lancaster, 1–371.
- Stankić, I., 2010: *Višekriterijsko planiranje izvoženja drva forvarderima iz nizinskih šuma Hrvatske.* Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–123.
- Stankić, I., T. Poršinsky, Ž. Tomašić, I. Tonković, M. Frntić, 2012: *Productivity Models for Operational Planning of Timber Forwarding in Croatia.* *Croat. j. for. eng.* 33(1): 61–78.

Abstract

Influence of Prescribed Method of Roundwood Scaling on Timber Transport

In timber trade in Croatian forestry, roundwood is usually dispatched by volume in accordance with the standard (EN 1309–2: 2006) and there is a loss of volume due to the prescribed ways of measurement: 1) length, 2) mean diameter, 3) deduction of bark and 4) the expression for estimating the volume of roundwood. Impact analysis of transported load (actual timber volume, timber mass, reduced volume due to the prescribed measuring) for Valmet 840.2 forwarder productivity in relation to the transportation distance was determined using a multi-criteria productivity forwarder model (Stankić et al. 2012).

The study was based on five different loads of oak (Quercus robur L.) in a forwarder, which differed with respect to: 1) the type of loaded assortments (roundwood, firewood, mixed load), 2) amount of loaded timber (full height of loading area, <2/3 height of loading area, <1/3 height of loading area of the vehicle). In addition to weighing (aimed at determin-

ing the load mass), measurement of timber in the load was also performed including as follows: 1) measurement of length to centimeter accuracy, and 2) measurement of diameters on the thicker and thinner end and in the middle of logs. The actual (gross) volume of each log was calculated using Reicke–Newton's formula, and the net volume of timber was calculated in accordance with the standard (EN 1309-2: 2006).

Differences in forwarder productivity, expressed in terms of timber gross volume and load mass are negligible (<1%) due to the effects of wood density $995.8 \pm 2.5 \text{ kg/m}^3$.

Forwarder productivity expressed in terms of timber net volume ranged from 3.5% to 24.3% when compared to the actual timber volume. The obtained results depend on the type and size of loaded assortments and quantity of loaded timber.

Obviously, the transport of timber and trade of timber are two different concepts from the standpoint of timber volume or load volume, with a different impact on the participants in the timber supply chain.

Keywords: prescribed measurement of roundwood, mass, volume, forwarder

Adresa autorâ – Authors' addresses:

Prof. dr. sc. Tomislav Poršinsky*
e-pošta: porsinsky@sumfak.hr
Andreja Đuka, dipl. inž. šum.
e-pošta: bosner@sumfak.hr
Zavod za šumarske tehnike i tehnologije
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Svetošimunska 25
10 000 Zagreb
HRVATSKA

Ostoja Busić, mag. ing. silv.
e-pošta: osbusic@gmail.com
Strao Selo Topusko 148
44415 Topusko
HRVATSKA

* Glavni autor – Corresponding author

Primljeno (*Received*): 16. 1. 2014.
Prihvaćeno (*Accepted*): 8. 4. 2014.

Transport of Technical Roundwood by Forwarder and Tractor Assembly from Poplar Plantations

Milorad Danilović, Dušan Stojnić, Slavica Karić, Milan Sučević

Abstract – Nacrtak

This article presents the results of a research dealing with operating efficiency of articulated and tractor assemblies in the plots of poplar plantations in which different means of work were used for felling and cross-cutting. The aim was to study the effects of the arrangement of wood assortments on the driving speed of the vehicle, the time needed to load and manipulate the vehicle and the overall working efficiency of forwarders. The research was carried out in Vojvodina, in the area of PE »Vojvodina šume«. Altogether 170 transport cycles were recorded and 2166.73 m³ transported. The research results show that the forwarder moved faster on the felling site where the felling and cross-cutting operations were carried out by a harvester. The speed was 10% higher and it took 5% less time to load the forwarder. The differences were considerably greater concerning the manipulation time (maneuvering and positioning the vehicle during the loading). The driving speed decreased with an increase in the load volume. Fuel consumption was lower in the felling site where a harvester was used for felling. Under the same working conditions, the tractor assembly achieved better productivity because it drove at considerably higher speeds. The differences in the average load volume were not so great, which significantly affected the productivity of the tractor assembly. The initial hypothesis that a forwarder achieves better working efficiency in the felling site, where a harvester has been used in the operations of felling and cross-cutting, was confirmed.

Keywords: John Deere 1210E forwarder, tractor assembly, first phase of transport, poplar technical roundwood, efficiency, costs

1. Introduction – Uvod

Technical roundwood of soft and hard broadleaves is transported in lowland areas by both tractor and articulated vehicles. Tractors are mainly intended for the transport of technical roundwood from the thinning of hard broadleaves and for the transport of thinner assortments (long pulpwood, extended firewood, etc.) from soft broadleaved plantations. The use of the tractor assembly does not necessarily exclude the use of articulated vehicles, at least not in the territory of Serbia. In Serbia, tractors are more often used on level to moderately steep terrains. The choice of vehicles is determined by the state of the terrain (size and frequency of obstacles in a felling site, bearing capacity of the soil), structure of the material and transport distance. The use of forwarders in the forestry of Serbia

is related to difficult terrains (swamp forests), and tractor assemblies are generally used in more favorable conditions (flood protected terrains). Under such conditions, the operating costs are lower if a tractor assembly is used compared to the costs of articulated vehicles (Đoković and Jezdić 1980). Unlike forwarders, tractor assemblies are used in more favorable conditions, at longer distances, often even in the second phase of timber transport (Danilović et al. 2012).

The operating efficiency of forwarders is affected by a number of different factors: tree species, silvicultural treatments, terrain conditions, average haulage distance, timber density on the strip road and load volume, operator skills (Nikolić and Jezdić 1983, Sever 1988, Tufts and Brinker 1993, Kellogg and Bettinger 1994, Kuitto et al. 1994, Tiernan et al. 2004, Poršinsky 2005, Väättäinnet al. 2005).

A reduction in the load volume can greatly affect the efficiency of the forwarder, particularly if the hauling distance is increased. Reducing the load to 2/3 of the load space compared to the nominally loaded forwarder (12 t load) reduces its efficiency by 16% (for a 100 m distance) or by 28% (for a 800 m distance) (Poršinsky et al. 2011). Zimbalatti and Proto (2010) point out that, provided the assortment method is applied, the efficiency of John Deere 1110D forwarder model correlates strongly with the size of the load and mean transport distance.

There are comparatively large forest areas in Vojvodina that are located in the foreland of its major rivers. They are characterized by frequent flooding, i.e. low bearing capacity of the substrate. From a technical point of view, forwarders are better suited for such conditions (Danilović et al. 2012).

The state of the substrate and the load weight affect the fuel consumption. Fuel consumption is important both from the economical and ecological point of view, since it affects the transport costs on the one hand and emissions of the pollutants into the atmosphere on the other. Berg and Lindholm (2005) reported a significantly higher emission of pollutants in forestry operations in the Scandinavian countries than those shown in previous results. The average consumption of diesel fuel in felling, cross-cutting, and in the first phase of transport amounts to 1.48–1.78 L/m³ (Michelsen et al. 2008). Johnson et al. (2005) reported similar amounts of diesel fuel used for felling trees in the northwest of the United States (1.70 L/m³). According to Jezdić et al. (1995) diesel consumption for a five-year period in FE »Sremska Mitrovica« was an average of 1.17 L/m³. Surface conditions (the height and number of obstacles) affect the working efficiency of forwarders.

2. Research problems and aims

Problematika i cilj istraživanja

In poplar plantations in Serbia, clear cutting is applied at the end of the production cycle, which is about 20 years long. From a technological point of view, clear cutting has many advantages, considering the greater technology freedom it permits. Under these conditions, a large amount of assortments, usually over 300 m³/ha, is concentrated on a small area. Felling and cross-cutting are generally performed using chainsaws and applying the 1M+1R organizational form of work (M – chainsaw logger, R – assistant worker). After trees have been felled and wood assortments cross-cut with a chainsaw, evenly spaced assortments remain in the felling site. However, apart from chainsaws, John Deere 1470D ECO III harvester has been used in

FE »Sremska Mitrovica« for felling and cross-cutting since 2008. When the harvester is used, the order of assortments on the worksite is improved, which allows a more efficient use of the equipment in the first phase of transport. In other words, the felled logs are lined in smaller piles, which makes the manipulation of the forwarder easier and shortens the passage time during loading. The loading is faster and the forwarder attains a higher speed between the loading and unloading site (Danilović et al. 2011). This was one of the reasons to study the operating efficiency of forwarders in these conditions.

Accordingly, the aim of this research study was to investigate the operating efficiency of John Deere 1210E Forwarder, which is used after a clear-cutting has been performed with a chainsaw and by John Deere 1470D Eco III Harvester. Another aim was to compare the efficiency of John Deere 1210E Forwarder with the efficiency of the tractor assembly in the same working conditions.

The starting hypothesis is that the arrangement of assortments in the felling site, where the harvester has been used for felling and cross-cutting, has positive effects on the forwarder efficiency, meaning that the speed of the forwarder moving on the felling site will be higher. Apart from that, we assume that the loading time will be shorter because, after felling and cross-cutting, the harvester groups the logs. Furthermore, we assume that the operating costs of the tractor assembly will be lower than the operating costs of forwarders under the same working conditions.

3. Materials and methods – *Materijal i metode istraživanja*

The operations of the transport vehicles were recorded in three sample plots (SP). Felling and cross-cutting operations in SP1A and SP1B were performed with a chain saw, while in SP2 it was done using a harvester in the case of technical roundwood, and Stihl 260 chainsaw in the case of short pulpwood. The basic characteristics of the plantation and terrain are presented in Table 1.

The weather did not show any significant changes during the recording time. It was sunny and the soil was dry. The forwarder operators were well trained and they have been achieving satisfactory results in this kind of work for many years.

When the harvester was used for felling trees, the assortments were grouped at the acute angle to the direction of harvester movement, while in the case of chainsaw felling it was impossible to group the assort-

Table 1 Basic characteristics of the plantation (felling site)**Tablica 1.** Osnovna obilježja plantaža (radilišta)

Plantation age at the time of harvest (SP1A and SP1B), years – <i>Dob plantaže u vrijeme sječe (PP1A i PP1B), godine</i>	25
Plantation age at the time of harvest (SP2), years – <i>Dob plantaže u vrijeme sječe (PP2), godine</i>	26
Planting spacing (SP1A and SP1B), m – <i>Razmak sadnje (PP1A i PP1B), m</i>	6 × 6
Planting spacing (SP2), m – <i>Razmak sadnje (PP2), m</i>	
Number of trees per ha at the time of establishment – <i>Broj stabala po ha u vrijeme osnivanja</i>	278
Number of trees per ha on SP1A and SP1B at the end of rotation <i>Broj stabala po ha na PP1A i PP1B na kraju ophodnje</i>	268
Number of trees per ha in SP2 at the end of rotation – <i>Broj stabala po ha na PP2 na kraju ophodnje</i>	231
Mean diameter at breast height (SP1A and SP1B), cm – <i>Srednji promjer na prsnoj visini stabla (PP1A i PP1B), cm</i>	41
Mean diameter at breast height (SP2), cm – <i>Srednji promjer na prsnoj visini stabla (PP2), cm</i>	38
Net harvested volume (SP1A and SP1B), m ³ /ha – <i>Neto sječna gustoća (PP1A i PP1B), m³/ha</i>	396
Net harvested volume (SP2), m ³ /ha – <i>Neto sječna gustoća (PP2), m³/ha</i>	287.7
Slope, % – <i>Nagib, %</i>	≈ 0°
Harvesting method – <i>Metoda sječe</i>	Clear-cut – <i>Čista sječa</i>
Soil type (SP1A and SP1B) – <i>Tip tla (PP1A i PP1B)</i>	Fossil humogley – <i>Ritska crnica</i>
Soil type (SP2) – <i>Tip tla (PP2)</i>	Semigley – <i>Semiglej</i>

Note: Sample plot (SP) – *Bilježka: Pokusna ploha (PP)*

ments, which resulted in the crisscrossing of the felled trees (Fig. 1 and 3). During the loading of wood assortments in SP2, the forwarder moved between the rows, or along the strips that were bordered by piled assortments on both left and right side. Apart from that, there were some branches between the piles, which is not the case when felling and cross-cutting are carried out using a chainsaw. Wood assortments were transported to the felling site and along the skid trail to the hard truck road where there was a temporary landing. The average values for the measured elements of the studied transport cycles are shown in Table 2.

The work time study was applied for the purposes of this research. A digital watch was used to measure

the duration of the operations, applying the flow method, with an accuracy of up to one second. The following forwarder operations were recorded: manipulation at temporary landing, drive to uplift the load, manipulation in the felling site, loading of wood assortments, crossing during loading, and return from the felling site to the unloading site.

All downtime periods during the forwarder operation were recorded, especially those related to free movement of the forwarder between the piles of wood assortments sorted by the harvester in the course of felling and cross-cutting operations, since the starting hypothesis is that in this case it takes less time to load the logs and to cross from one point to another than

Table 2 Values of the measured elements in sample plots**Tablica 2.** Vrijednosti izmjerenih elemenata na pokusnim ploham

Measured parameter – <i>Mjereni parametar</i>	Sample plot 1A <i>Pokusna ploha 1A</i>	Sample plot 2 <i>Pokusna ploha 2</i>	Sample plot 1B <i>Pokusna ploha 2B</i>
Number of transport cycles – <i>Broj ciklusa izvoženja</i>	54	40	76
Average log volume, m ³ /pcs – <i>Prosječni volumen sortimenta, m³/kom.</i>	0.35	0.34	0.33
Total volume of transported assortments, m ³ – <i>Ukupni obujam izvezenih sortimenata, m³</i>	718.85	474.00	973.88
Maximum volume of a load, m ³ – <i>Najveći obujam ciklusa izvoženja, m³</i>	15.18	12.33	15.28
Minimum volume of a load, m ³ – <i>Najmanji obujam ciklusa izvoženja, m³</i>	12.81	11.12	9.89
Average volume of a load, m ³ – <i>Prosječni obujam ciklusa izvoženja, m³</i>	13.07	11.85	12.81

when the forwarder moves on the felling site where the cutting has been performed with a chainsaw. The transport distances of the full and empty drive were measured with an accuracy of up to 1 m. GPS device Mobile Mapper 10 was used for the measurement. This paper used conventional statistical and mathematical methods. Statgraphic Plus was used for statistical data processing.

4. Study area – Područje istraživanja

The research was carried out in the regular cuttings of poplar plantations *Populus × euramericana* 'I-214' in Vojvodina. The performance of John Deere 1210E forwarder in the first phase of transporting technical round wood was recorded in a felling site of the FE »Sremska Mitrovica«, where felling and cross-cutting operation was performed by John Deere 1470D Eco III harvester (Fig. 2), and in a felling site of the FE »Banat«, »Pančevo«, where the harvesting was carried out with a chainsaw (Fig. 1). The same felling site was used to record the work of the tractor assembly that consisted of Same Laser 130 tractor, Imako 12 t trailer and Loglift F61, F71 boom (Fig. 3). The transport of wood assortments was carried out in May and June 2012 and 2013.

5. Research results – Rezultati istraživanja

The total volume of timber transported during the recording period was 2 166.73 m³. The values calculated for certain elements of the transport cycle are shown in Table 3.

The average speed of the forwarder when driving to take the load (empty vehicle) in all transport cycles in



Fig. 1 Full forwarder in sample plot 1A

Slika 1. Natovareni forvarder na pokusnoj plohi 1A



Fig. 2 Loading of assortments in sample plot 2

Slika 2. Utovar sortimenata na pokusnoj plohi 2



Fig. 3 Loading of assortments in sample plot 1B

Slika 3. Utovar sortimenata na pokusnoj plohi 1B

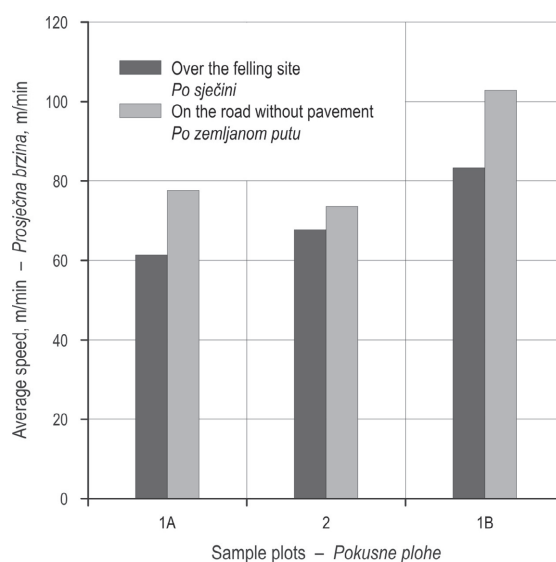


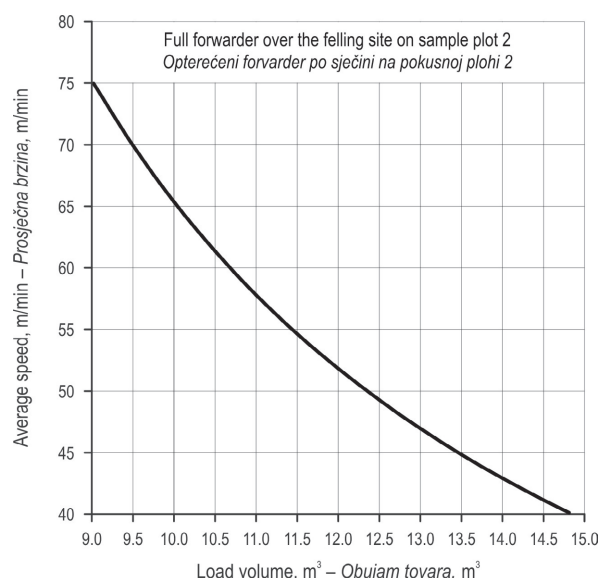
Fig. 4 Average speed on sample plots

Slika 4. Prosječna brzina na pokusnim plohama

Table 3 Elements of a transport cycle

Tablica 3. Vrijednosti elemenata transportnoga ciklusa

Measured parameter – Mjereni parametar	Sample plot 1A <i>Pokusna ploha 1A</i>	Sample plot 2 <i>Pokusna ploha 2</i>	Sample plot 1B <i>Pokusna ploha 2B</i>
Mean transport distance on the felling site, m – <i>Srednja udaljenost izvoženja na radilištu, m</i>	753.0	278.5	1839.6
Mean transport distance on the road without pavement, m <i>Srednja udaljenost izvoženja na zemljanom putu, m</i>	398.7	320	263.6
Mean converted transport distance, m – <i>Srednja pretvorbena udaljenost izvoženja, m</i>	1003.4	396.4	2052.7
Coefficient of conversion – <i>Koeficijent pretvorbe</i>	0.737	0.809	0.628
Average speed on the felling site, m/min – <i>Prosječna brzina na radilištu, m/min</i>	61.3	67.8	83.3
Average speed on the road without pavement, m/min <i>Prosječna brzina na zemljanom putu, m/min</i>	77.6	73.6	102.9
Loading time, min/m ³ – <i>Vrijeme utovara, min/m³</i>	0.99	0.95	1.24
Unloading time, min/m ³ – <i>Vrijeme istovara, min/m³</i>	0.34	0.31	0.59
Average distance when crossing the felling site during loading, m <i>Prosječna udaljenost premještanja na radilištu kod utovara, m</i>	43.0	31.6	22.9
Crossing and manipulation time, min/cycle – <i>Vrijeme prelaženja i manevriranja, min/ciklus</i>	3.50	1.90	2.7
Manipulation time on the roadside landing, min/cycle <i>Vrijeme manevriranja na pomoćnom stovarištu, min/ciklusu</i>	0.81	0.74	0.91


Fig. 5 Dependence of the average forwarder speed (full vehicle) in the felling site on load volume

Slika 5. Ovisnost prosječne brzine opterećenoga forvardera o obujmu tovara na radilištu

SP1A was 71.6 m/min, while it amounted to 62.1 m/min on the way back (full vehicle). When the forwarder moved along the dirt roads of the poplar plantation, its average speed was 81.5 m/min when it was empty and 74.0 m/min when it was full. In SP2, the forward-

er reached the average speed of 81.8 m/min when driving to take the load and 58.2 m/min on the way back. The average speed of the forwarder on the dirt road was 78.5 m/min when it was empty and 69.8 m/min when it was full.

The average speed of the vehicle in the felling site of SP1A was significantly different from the average speed of the vehicle in SP2 ($F = 7.2$, $p = 0.009$). The correlation between the speed of a full vehicle and the load volume was studied in SP2, where the differences between the minimum and maximum load volume were the greatest.

The average movement time of a loaded transport vehicle is shorter than the time achieved by an empty transport vehicle, regardless of the road category. The difference in the speed was the greatest in the felling site in which a harvester was used for felling and cross-cutting and it amounted to 28.6%. The correlation between the average time spent on the movement of the full forwarder on the felling site in SP2 (Fig. 5) and the load volume is presented by the following formula:

$$V_s = \frac{1}{(-0.0047 + 0.002 \cdot q)}, (R = 0.533, Sr = 0.0033)$$

The time needed for loading and unloading is dependent on the average log volume and load volume (Tafts and Brinker 1993, Gullberg 1997, Väättäinen et al.

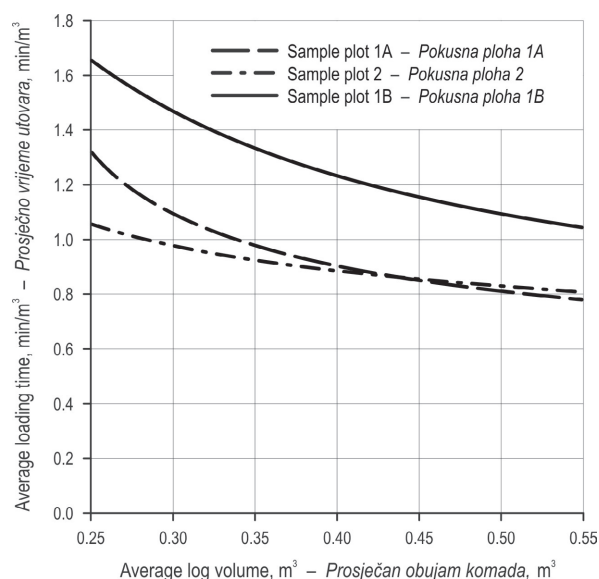


Fig. 6 Dependence between the loading time and the average log volume

Slika 6. Ovisnost vremena utovara o prosječnom obujmu komada

2005). Besides, the loading time varies with the arrangement of the assortments in the felling site, which motivated us to carry out this research. The loading time, expressed in min/m^3 , decreases with an increase in the log volume (Fig. 6).

The loading time decreases with an increase in the log volume, and this correlation is moderate to high (R ranges from 0.493 to 0.543). The function models of the studied correlation are presented in Table 4.

Table 4 Regression models for the correlation between the loading time and average log volume

Tablica 4. Regresijski modeli ovisnosti vremena utovara o prosječnom obujmu komada

Sample plots <i>Pokusne ploha</i>	Function – <i>Ovisnost</i>	R^2	S_r
1A	$t_u = \frac{1}{\left(1.717 - \frac{0.239}{m}\right)}$	26.0	0.122
1B	$t_u = 0.597 + \frac{0.115}{m}$	24.3	0.074
2	$t_u = 0.542 + \frac{0.277}{m}$	29.8	0.089

Note: loading time – t_u , average log volume, m^3

Bilješka: vrijeme utovara – t_u , prosječni obujam sortimenta, m^3

This time is also affected by the number of logs that are simultaneously loaded with one grip of the hydraulic boom. Sometimes the hydraulic grapple grips several logs at the same time, which reduces the good effects of the greater volume of logs. This is less frequent in the felling site where chain saws have been used for felling and cross-cutting, because the logs are crisscrossed there, so it is less possible to lift several logs in one grip. Even if it were possible, it would take more time to make a grip than when only one log is loaded. This is not the case with unloading the wood assortments because less time is wasted on making a grip. The results of the analysis of variance show that there is a statistically significant difference ($F = 101.9$, $p = 0.000$) in the average time needed to load technical roundwood in the study area. There are differences in the loading time between the tractor assembly and forwarder, but there is no difference in the loading time of forwarders, regardless of the cutting method ($F = 3.58$, $p = 0.061$). The unloading time was not studied, given the differences in the time of loading. However, in this case, the hypothesis that there are significant differences in the loading time depending on the harvesting method was not proven, although the log volume was approximately the same.

The average manipulation time (moving and positioning of the vehicle) when loading the wood assortments was the longest in SP1A and the shortest in SP2. There was no statistically significant difference in the manipulation time between SP1A and SP1B ($F = 1.310$, $p = 0.255$). The average manipulation time in these

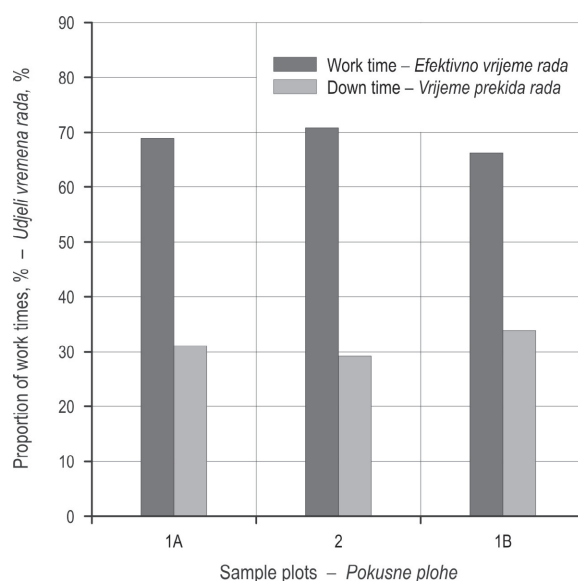


Fig. 7 Proportion of work time to downtime

Slika 7. Udio efektivnoga vremena rada i vremena prekida rada

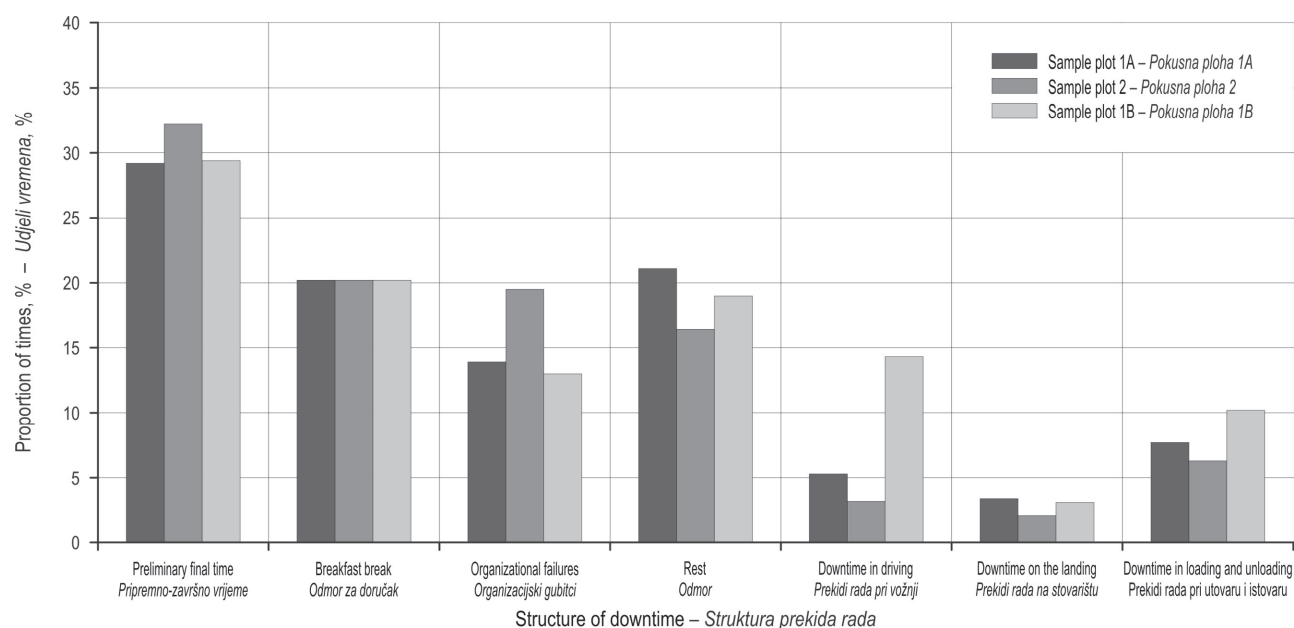


Fig. 8 Structure of downtime

Slika 8. Struktura vremena prekida rada

sample plots amounted to 0.23 min/m³. On the other hand, there was a statistically significant difference in the forwarder manipulation time between SP1A and SP1B ($F = 68.85$, $p = 0.000$). The average manipulation time in SP2 was 0.16 min/m³. The proportion of work time to downtime is shown in Fig. 4. The work time of the studied vehicles ranged from 66.2% to 70.8%. The proportion of downtime was the greatest in transporting technical roundwood by tractor assembly (Fig. 7).

The greatest share of downtime refers to preliminary final time. Breaks and rests account for a slightly smaller share. The share of downtime due to organizational failures ranges from 13 to 19.5% of the total downtime, depending on the vehicle (Fig. 8).

The share of downtime in full and empty drive is different and it depends on the type of vehicle used. It is the smallest in SP2 and amounts to 3.2% of the total downtime, while it is the greatest in the movement of the tractor assembly and amounts to 14.3%. The share of downtime is greater in SP1A than in SP2, which is probably due to the arrangement of wood assortments in the stand. The length of downtime in loading and unloading is the shortest in SP2 which is due to the arrangement of wood assortments in the felling site. The share of downtime was affected by the operator skills, the state of the vehicle, organization of the working operations, etc. Good organization of work actually means that it is a great advantage if there is a place near the felling site where the vehicle can be parked at the end of a working day. Basically, this has been a

practice in the FE »Sremska Mitrovica« for a long time and recently in the FE »Pančevo«, as well. This practice is time efficient, meaning that the vehicles achieve better productivity.

Fuel consumption was determined by the method of refilling the tank. The fuel was transported to the place where the vehicle was parked and then poured into the tank. Upon completion of the work, the tank was refilled. The vehicle had to be parked on a level surface during the process. The fuel was refilled to the top of the fuel tank, and the tank was checked at the beginning of the working process in case it had to be filled up with fuel. The fuel consumption refers to working time of the tractor engine (running tractor). The results of the measurements are shown in Table 5.

Table 5 Fuel consumption

Tablica 5. Potrošnja goriva

	Sample plots – Pokusne plohe		
	1A	2	1B
Fuel consumption Potrosnja goriva	L/h		
	11.84	8.17	11.05
	L/m ³		
	0.92	0.77	0.91

The coefficients for converting the mean transport distance on a dirt road into the mean transport dis-

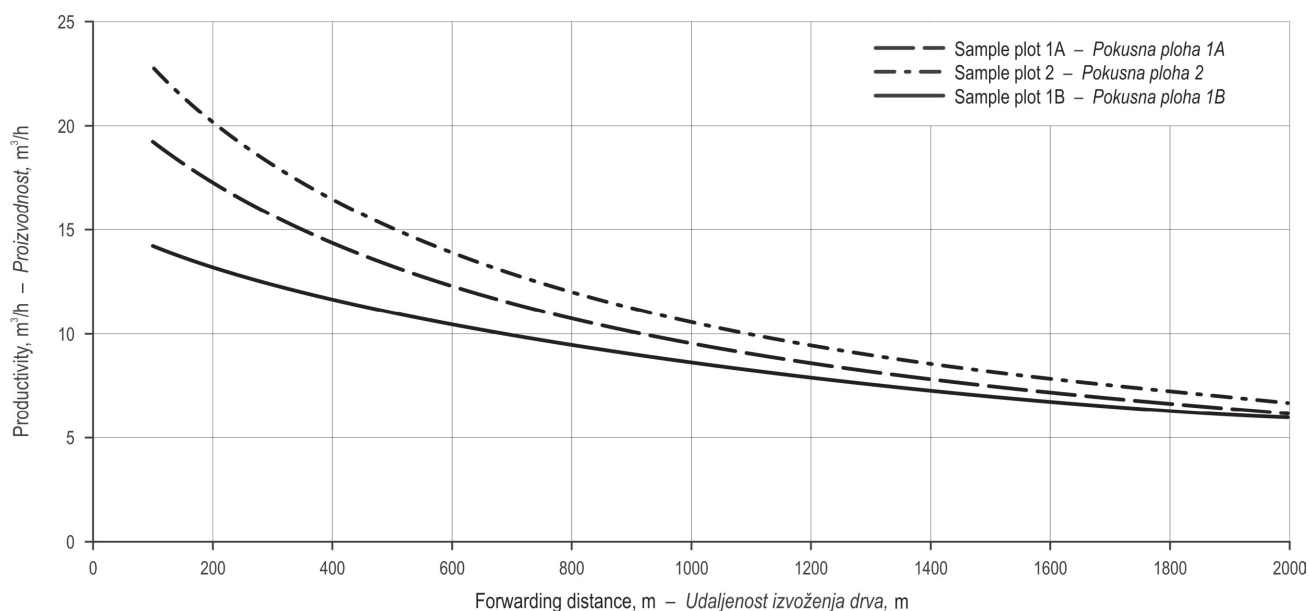


Fig. 9 Dependence of the productivity on forwarding distance

Slika 9. Ovisnost proizvodnosti o udaljenosti izvoženja drva

tance on the felling site are given in Table 3. The average outputs that the tractor achieves when transporting technical roundwood, with the average log volume amounting to 0.3 m³, are presented in Fig. 9.

Direct daily operating costs of John Deere 1210E forwarder, calculated based on standard calculations,

amount to 463.2 €/day, while the costs of the tractor assembly amount to 207.6 €/day. The purchase price of a forwarder is EUR 288,000, and of the tractor assembly EUR 76,335. The annual interest rate is 6.5%. Amortization period for both types of vehicles is 5 years, and the price of fuel is 1.36 €/L. The unit costs

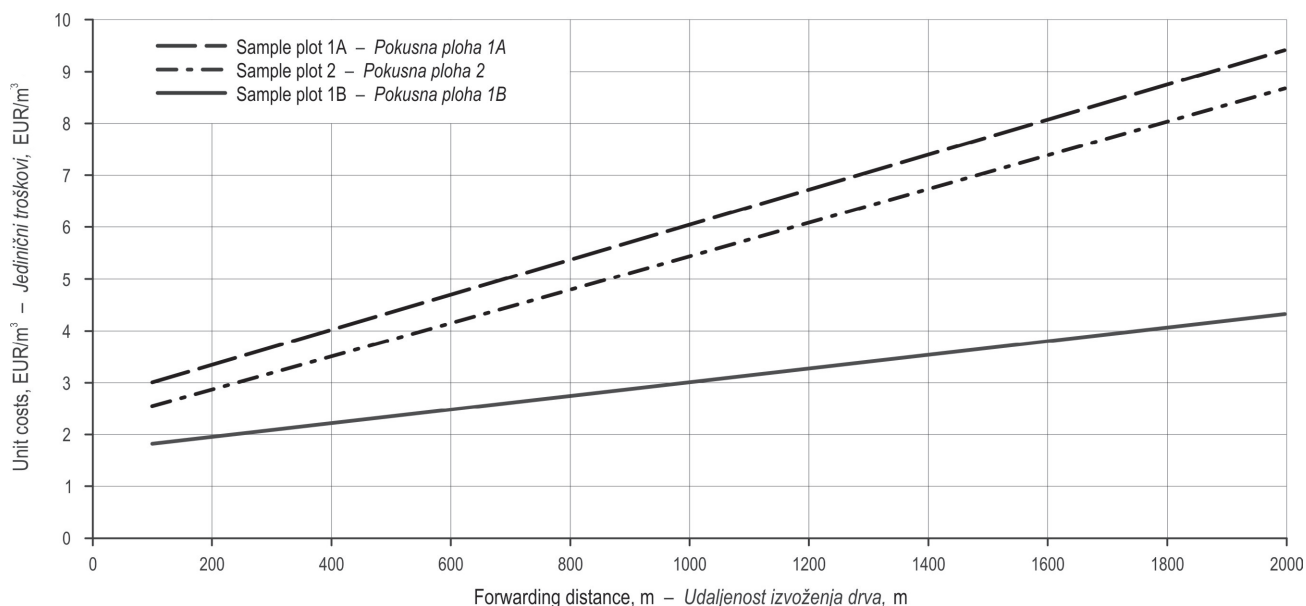


Fig. 10 Dependence of unit costs on forwarding distance and log volume

Slika 10. Ovisnost jediničnoga troška o udaljenosti izvoženja drva i obujmu komada

were calculated based on daily direct labor costs and the achieved outputs. Fig. 10 shows the unit costs and their dependence on the transport distance and log volume.

6. Discussion – *Rasprava*

The efficiency of the vehicles used in the operations of the first phase of transport in lowland areas has been the subject of a number of studies, which have quantified the effects of different factors. This research is based on the fact that multifunctional machinery is commonly used in the forestry of Serbia, especially in the operations of felling and cross-cutting of wood assortments in the plantations of soft broadleaves. John Deere 1470D ECO III harvester achieves significant outputs in the operations of felling and cross-cutting in regular cuttings of poplar plantations, but if we compare the unit costs of felling and cross-cutting operations carried out by a harvester with the costs of the same operations done with a chainsaw, we can see that, under the same working conditions, the unit costs are considerably lower when a chainsaw is used (Danilović et al. 2011). This is due to the high fixed costs of felling and cross-cutting by a harvester in comparison to the fixed costs of the same operations performed using a chainsaw. The differences in the costs are bigger in the case of long pulpwood. All the benefits should be considered by studying the working efficiency in the phase of felling and cross-cutting and in the phase of transporting the wood assortments. The use of different equipment for felling and cross-cutting has different impacts on the working efficiency of the equipment used in the operations of transporting wood assortments.

The results of these investigations show that there are differences in the basic working norms (average speed of the vehicle moving on the felling site, average loading time and average manipulation time in the felling site) between the investigated means of work. These differences confirm the initial hypothesis that it is more advantageous to use a forwarder in the felling site, where felling and cross-cutting have been performed by a harvester. The difference in the average driving speed of forwarders in these two sample plots is about 10%, which can be attributed to some extent to the difference in the harvesting method applied (Fig. 4). Since this research study has not been carried out in strictly controlled conditions, there are some other factors that could not be determined, but could possibly

affect the results. The time needed to drive both a full and an empty vehicle vary with the distance and driving speed, which are generally affected by geophysical factors (Manner et al. 2013). The average speed achieved by the forwarder in the felling site, where the chainsaw was used for felling, is not significantly different from the speed values obtained in previous research studies carried out in similar conditions (Jezdić et al. 1999, Danilović 2010, Danilović et al. 2012b). In this case, the branch wood that remained on the strips after felling and cross-cutting by a harvester could not significantly affect the movement of a forwarder, because the soil was dry.

The loading time is slightly shorter when transporting wood from the felling site where the prior felling has been performed by a harvester, which is expected because the logs are less crisscrossed in the process of felling and cross-cutting, and consequently it takes less time to load the forwarder. The difference is small though and amounts to 5%. The situation is different with the manipulation time (forwarder maneuvering and positioning), i.e. the manipulation time is considerably shorter (about 45%) when technical round wood of soft broadleaves is transported from the felling site where harvester has been used for felling. This is affected by the arrangement of assortments, possibility to form the load from a smaller number of standing points and less need to bypass obstacles. In the opposite case, the forwarder comes across a greater number of high obstacles, which makes the coefficient of obstacle by passing higher and the distance greater. If we look at the structure of downtime, it can be seen that the share of downtime in driving and in loading and unloading is significantly lower in SP2, which can also be attributed to the state of soil and to the arrangement of assortments. Kuitto et al. (1994) outline that the loading time depends on the concentration of wood assortments in a felling site. The share of downtime in unloading is insignificant. The efficiency of the forwarder is evaluated based on the quantification of several factors, which was done, in this case, through a comparative analysis of the basic working norms. The results of this analysis show that the working efficiency of the forwarder was greater in the felling site, where the harvester had been used for felling and cross-cutting. The working efficiency of this vehicle used in the final cuttings of soft broadleaves is similar to the efficiency of different types of forwarders studied in previous researches (Jezdić et al. 1995, Jezdić et al. 1999, Danilović 2010, Danilović et al. 2012a).

On extremely difficult terrains, with low bearing capacity, the movement of the forwarder would be easier if a bogie track was attached. Bogie tracks have never been used in the lowland forests of Vojvodina, so it would be good to determine their impact on the efficiency of forwarders. In the forestry of Finland, bogie tracks are used all the year round, regardless of weather conditions (Suvinen et al. 2006).

In lowland areas, we can make a choice between the tractor and articulated vehicles in the first phase of transporting roundwood. Tractor assemblies are more applicable in favorable terrain conditions since harsh conditions entail low soil bearing capacity and strong presence of shrub vegetation. From a technical aspect, forwarders are better suited for these conditions. The results of this research study show that the average speed of the tractor assembly, made of Same Laser 130 tractor, Imako 12 t trailer and Loglift F61 boom, was by 35.9% higher than the average speed achieved by John Deere 1210E forwarder. It should be emphasized that the conditions were favorable and that hence such results were expected. There was also a difference in the manipulation time, i.e. the time needed to manipulate the forwarder was by 29.6% longer than the time needed to manipulate the tractor assembly.

The forwarder also showed an advantage regarding the time of loading and unloading, since it took 37.6% more time to load the tractor assembly. Concerning the basic working norms, it can be concluded that in the given study conditions, the tractor assembly is an economically more suitable means of transport. Smaller forwarders can be used as an alternative means of transport for thinning operations in the plantations of soft broadleaves. Poršinsky et al. (2011) recommend the use of smaller forwarders in the thinning of hard broadleaves.

7. Conclusions – Zaključci

The following conclusions can be reached on the basis of the analysis performed:

- ⇒ The average driving speed of John Deere 1210E forwarder in the felling site, where the felling was done with a chainsaw, is lower than the average speed in the felling site where a harvester was used for felling and cross-cutting;
- ⇒ In the same working conditions, a tractor assembly reaches a higher average driving speed than a forwarder;

- ⇒ The average driving speed of a forwarder on the felling site significantly decreases with an increase in the load volume;
- ⇒ Loading time decreases with an increase in the log volume and the average loading time per unit is the shortest in the sample plot where felling was carried out by a harvester, while it is the longest if the assortments are transported by a tractor assembly;
- ⇒ The forwarder manipulation time is significantly shorter in the sample plot where the felling was carried out by a harvester;
- ⇒ The driving downtime, as well as the loading and unloading downtime, is the shortest in the sample plot where the felling was carried out by a harvester;
- ⇒ Under the study conditions, tractor assemblies are more convenient from the economical point of view.

8. References –Literatura

- Berg, S., Lindholm, E. L, 2005: Energy use and environmental impacts of forest operations in Sweden. *Journal of Cleaner Production* 327: 33–42.
- Danilović, M., 2010: Transport oblovine mekih lišćara forwarderom John Deere 1410D u ravničarskim područjima (Log Transport of the Soft Deciduous Trees by a Forwarder John Deere 1410 D on Plain Terrain). *Poljoprivredna tehnika* 1: 99–111.
- Danilović, M., Tomašević, I., Gačić, D., 2011: Efficiency of John Deere 1470D ECO III Harvester in Poplar Plantations. *Croatian Journal of Forest Engineering* 32(2): 533–549.
- Danilović, M., Ilić, M., Karić, S., 2012a: Efikasnost primene traktorske ekipaže u fazi transporta tehničkog oblog drveća (Efficiency of using a tractor assembly in phase of technical roundwood transportation). *Traktori i pogonske mašine* 2/3: 33–38.
- Danilović, M., Đorđević, Z., Nestorovski, Lj., 2012b: Operating efficiency of Timber Jack 1210B in transporting soft deciduous roundwood. *For. review* 43: 7–11.
- Đoković, P., Jezdić, D., 1980: Prilog izboru transportnih sredstava za prvu fazu transporta sortimenata mekih lišćara (Contribution to the choice of transportation means for the first transportations of the broadleaved assortments). *Topola* 127–128: 13–20.
- Gullberg Kellogg, L. D., Bettinger, P., 1994: Thinning productivity and cost for mechanized cut-to-length system in the Northwest Pacific coast region of the USA. *Journal of Forest Engineering* 5(2): 43–52.

- Jezdić, D., Janjatović, G., Rukavina, Ž., 1995: Primena forvardera u transportu drvnih sortimenata. Šumarstvo 1–2: 47–60.
- Jezdić, D., Rukavina, Ž., Mrđenović, S., 1999: Ispitivanje forvardera Timberjack 1210B 6 × 6 u transportu drvnih sortimenata (Research into the forwarder Timberjack 1210 6 × 6 during transport of wooden goods). Topola 163–164:47–56.
- Johnson, L. R., Lippke, B., Marshall, J. D., Cornick, J., 2005: Life-cycle impacts of forest resource activities in the Pacific Northwest and southeast United States. Wood and Fiber Science 37 (Corrim special issue): 30–46.
- Kellogg, L. D., Bettinger, P., 1994: Thinning productivity and cost for mechanized cut-to-length system in the Northwest Pacific coast region of the USA. Journal of Forest Engineering 5(2): 43–52.
- Kuitto, P. J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T., Terävä, J. 1994: Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus (Mechanized cutting and forest haulage). Metsätiedotus 410, Metsätieto, Helsinki, 38 p. [In Finnish, English summary].
- Manner, J., Nordfjell, T., Lindroos, O., 2013: Effects of the number of assortments and log concentration on time consumption for forwarding. Silva Fennica 47(4): 19 p.
- Nikolić, S., Jezdić, D., 1983: Izbor transportnog sredstva za prevoz šumskih sortimenata u uslovima SAP Vojvodine (Choice of means of forest assortment transportation in socialist autonomous region of Vojvodina). Topola 137–138: 17–21.
- Poršinsky, T., 2005: Djelotvornost i ekološka pogodnost forvardera Timberjack 1710B pri izvoženju oblovine iz nizinskih šuma Hrvatske. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–170.
- Poršinsky, T., Stankić, I., Bosner, A., 2011: Djelotvorno i ekološko prihvatljivo izvoženje drva forvarderom temeljem analize nominalog tlaka na podlogu. Croatian Journal of Forest Engineering 32(1): 345–356.
- Sever, S., 1988: Prizvodnost i performance forvardera u radovima privlačenja drva (Productivity and performance of forwarders in hauling operations). Mehanizacija šumarstva 18(4–6): 59–87.
- Suvinen, A., 2006: Economic Comparison of the Use of Tires, Wheel and bogie Tracks for Timber Extraction, Croatian Journal of Forest Engineering 27(2): 81–102.
- Tiernan, D., Zeleke, G., Owende, P. M. O., 2004: Effect of Working Conditions on Forwarder Productivity in Cut-to-length Timber Harvesting on Sensitive Forest Sites in Ireland. Biosystems Engineering 87(2): 7–77
- Tufts, R. A., Brinker, R. W., 1993: Productivity of a Scandinavian cut-to-length system while second thinning pine plantations. Forest Products Journal 43(11–12): 24–32.
- Väätäinen, K., Ovaskainen, H., Ranta, P., Ala-Fossi, A., 2005: Hakkuukoneen kuljettajan hiljaisen tiedon merkitys hakkuutulokseen työpistetasolla. Finnish Forest Research Institute, Research Papers 937. 90 p. [In Finnish].
- Zimbalatti, G., Proto, A. R., 2010: Productivity of forwarders in south Italy. In: FORMEC 2010, Forest Engineering: Meeting the Needs of the Society and the Environment, pp. 1–7.

Sažetak

Transport tehničke oblovine pomoću forvardera i traktorske ekipaže iz topolovih plantaža

Članak je rezultat istraživanja radne učinkovitosti forvardera i traktorske ekipaže na području odabranih pokusnih ploha u topolovim plantažama, u kojima su primijenjene različite metode rada pri sječi i izradi drva. Osnovni je cilj rada istražiti utjecaj rasporeda drvnih sortimenata na brzinu kretanja sredstva za privlačenje drva, na vrijeme potrebno za utovar i rukovanje (manevriranje) sredstvom za rad te na ukupni radni učinak sredstva za rad. Istraživanje je provedeno u Vojvodini na području poduzeća »Vojvodina šume«. Ukupno je snimljeno 170 ciklusa i izvezeno 2 166,73 m³ tehničke oblovine. Rezultati istraživanja pokazuju da se forvarder brže kreće na radilištu gdje se sječa i izrada obavljaju pomoću harvester. Brzina kretanja sredstva za rad bila je 10 % veća, a utovar forvardera trajao je 5 % manje vremena. Dobivene razlike znatno su veće vezano uz vrijeme rukovanja (manevriranja i pozicioniranja) sredstva za rad tijekom utovara drva. Brzina kretanja smanjuje se povećanjem obujma tovara, a niža potrošnja goriva utvrđena je na radilištima gdje su sječa i izrada obavljene harvesterom. Pri istim uvjetima rada traktorska ekipaža postiže bolju proizvodnost zato što postiže

pri kretanju značajno veću brzinu. Razlike u prosječnom obujmu tovara nisu bile tako velike, što značajno utječe na proizvodnost traktorske ekipaže. Istraživanjem je potvrđena početna teza da forwarder ostvaruje veći radni učinak na radilištima na kojima su sječa i izrada drva provedene harvesterom.

Ključne riječi: forwarder John Deere 1210E, traktorska ekipaža, izvoženje drva, tehnička topolova oblovina, učinkovitost, troškovi

Authors' address – *Adresa autorâ:*

Assoc. Prof. Milorad Danilović, PhD.*

e-mail: milorad.danilovic@sfb.bg.ac.rs

Slavica Karić, MSc.

e-mail: slavica.karic@sfb.bg.ac.rs

Dušan Stojnic, MSc.

e-mail: dusan.stojnic@sfb.bg.ac.rs

University of Belgrade, Faculty of Forestry

Kneza Višeslava 1

11030 Belgrade

SERBIA

Milan Sučević, BSc.

e-mail: milan.sucevic@banatsume.rs

FE »Vojvodina šume – Novi Sad«

Vojvode Putnika 3

21000 Novi Sad

SERBIA

* Corresponding author – *Glavni autor*

Received (*Primljeno*): January 26, 2014.

Accepted (*Prihvaćeno*): April 8, 2014.

Gaženje tla pri izvoženju drva forvarderom u sječinama hrasta lužnjaka

Zdravko Pandur, Tomislav Poršinsky, Marijan Šušnjar, Marko Zorić, Dinko Vusić

Nacrtak – Abstract

Gaženje tla kao posljedica kretanja šumskih vozila utječe na rast i prirast sastojine te ga je potrebno svesti na najmanju moguću razinu. Neke su od mjera smanjenja gaženja tla odabir prikladnoga sustava pridobivanja drva, ali i oblika sekundarne mreže šumskih prometnica (uz nadzor kretanja vozila po njima) te obavezno usmjereno rušenje stabala.

U radu je prikazano gaženje tla forvarderom na dvama susjednim radilištima pri izvoženju drva nakon provedenoga dovršnoga sijeka hrasta lužnjaka. Istraživani je forvarder bio opremljen sustavom Fleet Management (FMS) pomoću kojega je omogućeno daljinsko praćenje njegova rada, odnosno njegova položaja pri kretanju po istraživanim sječinama.

Dobiveni rezultati pokazuju da je gaženje tla istraživanih sječinih jedinica preveliko (> 30 % površine) te da se boljom organizacijom rada ono može smanjiti na prihvatljivu mjeru.

Ključne riječi: gaženje tla, forvarder, nizinske šume, organizacija rada, sekundarno otvaranje

1. Uvod – Introduction

Početak transporta drva u spačvanskim šumama pada u 19. stoljeće, kada započinju intenzivnije sječe radi proizvodnje hrastovih dužica za izradu bačava u Francuskoj i Njemačkoj. U ono vrijeme transport drva karakterizira privlačenje volovskim i konjskim spregama, prijevoz zaprežnim kolima tzv. »parizerima«, plavljenje i splavarenje vodom, korištenje gravitacije te iznošenje drva ljudskom snagom. Koncem 19. i početkom 20. stoljeća započinje mehaniziranje transporta drva, u kojem glavnu ulogu ima uvođenje šumskih željeznica (Krpan 1992).

U današnje vrijeme vozila koja se primjenjuju za primarni transport drva u nizinskim šumama (drvo se ne vuče po tlu, već se kotura – izvozi na kotačima) uglavnom su specijalna šumska vozila – forvarderi i traktorske ekipaže. Forvarderi se primjenjuju kao radno sredstvo za izvoženje drva u sječinama glavnoga prihoda drva (oplodne sječe), dok se u sječinama prethodnoga prihoda (prorede) koriste traktorski skupovi (ekipaže). Uporaba tih vozila uvjetuje sortimentnu metodu izradbe drva zbog ograničene duljine njihova utovarnoga prostora.

Slabak (1983) navodi da je privlačenje drva najznačajnija i najskuplja sastavnica pridobivanja drva te kao ključnu dvojbu smatra pitanje da li drvo vući po tlu ili izvoziti na kotačima. Isti autor navodi da je izvoženje drva tradicionalno uobičajen način privlačenja drva na području tadašnjega SŠGO-a »Slavonske šume«.

Sever (1980) spominje da se uvođenjem specijalnih šumskih vozila omogućilo i uvođenje novih tehnoloških procesa u polufazi privlačenja drva. Prvi forvarderi u Hrvatskoj primjenjuju se od 1971. godine, i to dva tipa Kockums 836B (Slabak 1983). Krpan (2000) navodi da su u to vrijeme u hrvatskim šumama radila 32 forvardera, dok Poršinsky (2005) daje podatak da se krajem 2004. u vlasništvu trgovačkoga društva »Hrvatske šume« d.o.o. nalazi 25 forvardera te procjenjuje da privatni poduzetnici imaju još 40 forvardera.

Mehanizacija koja služi u primarnom transportu drva nije sama sebi svrha, već je njezina uloga, osim zamjene ljudskoga rada strojnim, povećanje mogućnosti da se dosegne optimalno funkcioniranje šume (Horvat 1993). Horvat naglašava da primjena mehanizacije ima i negativne posljedice pogotovo ako postoji nesuglasje u biološki zamišljenim radnjama i realnim

mogućnostima strojeva. Te se posljedice opažaju kao štete na šumskoj sastojini i staništu, što povećava osjetljivost šumskoga ekosustava na bolesti, zagađenje okoliša te uvjetuje smanjenje proizvodnosti šume.

Radi što boljšega nadzora rada strojeva u novije se vrijeme takva vozila opremaju sustavom koji omogućuje daljinsko praćenje njihova rada FMS-om (engl. *Fleet Management System*). Prva je primjena FMS-a bila u voznim parkovima cestovnih vozila, a poslije se radi brojnih koristi počinje primjenjivati i na vozilima koja se kreću izvan putova (Pandur 2013).

Dobrom organizacijom rada smanjuje se štetan utjecaj kretanog sustava vozila na tlo ograničavanjem kretanja vozila po unaprijed određenoj i obilježenoj (traktorske vlake) ili izgrađenoj (traktorski putovi) mreži sekundarnih šumskih prometnica. Samim time smanjuje se površina izgaženoga tla koja u prvom redu ovisi o primijenjenom sustavu pridobivanja drva, koji u ovom slučaju uključuje izvoženje sortimentnom metodom izrađenoga drva forvarderom te organizaciji i pripremi rada, što se ponajprije odnosi na usmjerenje rušenja stabala (Horvat 1993, Poršinsky 2005).

2. Problematika i cilj istraživanja – *Scope and objectives*

Strojevi koji služe za pridobivanje drva, posebno oni koji za obavljanje rada koriste tlo kao nosivu podlogu kretanog postroja (kotačnoga ili gusjeničnoga) vozila mogu uzrokovati oštećenja šumišta. Ta se oštećenja najviše odnose na šumsko tlo, što se posljedično odražava i na vegetaciju kojoj je tlo jedan od osnovnih preduvjeta za opstanak i razvoj. Izravne štete koje se javljaju na šumskim tlama izazvane su zbijanjem čestica tla prolaskom vozila, njegovim premještanjem te prodorima kotača u tlo posebno kod njegove ograničene nosivosti.

Šumska tla imaju složenu slojevitou strukturu u kojoj se nalaze primjese kao što su korijenje i/ili kamenje i kao takva su uvijek prekrivena organskim materijalom (Robek i Matthies 1996).

Problem zbijanja šumskoga tla povećava se ubrzanim razvojem mehaniziranih sredstava i rasta njihove primjene pri izvođenju šumskih radova. Šumska vozila postaju sve većih masa, a razlozi su u zahtjevima za povećanjem proizvodnosti te njihove primjenjivosti i trajnosti (Rieppo i dr. 2002). Mogućnost opremanja vozila s dodatnom opremom (dizalica, vitlo ...) te mjera opreza od preopterećenja vozila također djeluju na povećanje njihove mase.

Zbijanje čestica tla uzrokovano je okomitim djelovanjem opterećenoga kotača na tlo te obodnom silom

koja se javlja na pogonskom kotaču zbog koje nastaje klizanje. Zbog opterećenja kotača na tlo javlja se naprezanje u tlu, što uzrokuje smanjenje poroznosti tla, povećanje gustoće tla te smanjenje međugregatnoga prostora. Time se pogoršava toplotni i zračni režim u tlu, smanjuje se propusnost tla za vodu te se otežano razvija korijenski sustav stabala. Povećanje gustoće tla utječe na asimilaciju korijenskoga sustava zbog smanjenja pora i udjela vlage u tlu, a to je uzrok nedostupnosti hraniva, što je pak glavni uzrok smanjenja rasta i prirasta biljaka (Quesnel i Curran 2000, Han 2006, Reisinger i dr. 1992, Grigal 2000).

Vossbrink i Horn (2004) napominju da teški šumski strojevi imaju ozbiljan utjecaj na fizičke značajke tla poput poroznosti, provodljivosti topline, kapaciteta tla za vodu te na rast korijenja biljaka. Da bi tlo zadržali u prirodnom stanju, nužne su promjene u planiranju, ali i izvođenju postupaka pridobivanja drva, što se može postići ograničavanjem kretanja vozila po pogodnim oblicima mreže sekundarnih šumskih prometnica. Zbog navedenih negativnih posljedica upotrebe teških vozila autori postavljaju nekoliko pitanja:

- ⇒ Koliki je utjecaj vozila na šumsko tlo i koliko se naprezanje javlja na različitim dubinama u podtlu ispod kotača vozila?
- ⇒ Kako se mijenjaju nosivost i čvrstoća tla te raspored pora u tlu nakon opterećenja?
- ⇒ Kakav je utjecaj kretanja vozila na propusnost tla za zrak i vodu te na postojanost pora?
- ⇒ Postoji li bojazan od utjecaja na rast i prirast drveća?
- ⇒ Koje su moguće smjernice za pridobivanje drva u budućnosti?

U oštećenja tla koja nastaju prolaskom vozila po šumskom tlu ubraja se i gaženje tla koje se definira kao dio površine po kojoj se kreću vozila u odnosu na ukupnu površinu sječne jedinice (odjel/odsjek) na kojoj se izvode radovi (Horvat 1994). Površina je gaženja značajan parametar oštećenja šumskoga tla pri izvoženju drva forvarderima (Poršinsky 2005) koji se kreću po površini sječne jedinice utovarujući izrađene drvene sortimente.

Kod metode CTL (engl. *Cut-to-length*) ili sortimentne metode izradbe drva posljedica je manje oštećivanje tla iz razloga, što se kod navedene metode općenito smatra da se drvo izvozi na kotačima (forvarderom) pri čemu se tlo oštećuje samo voznim sustavom vozila u odnosu na privlačenje drva skiderima gdje se tlo oštećuje i voznim sustavom, ali i vučenim drvom (Rummer 2002). Uspoređujući pet različitih sustava pridobivanja drva izrađenoga metodom CTL, Seixas i dr. (1995) zaključuju da je najmanje oštećenje prouzro-

čeno kombinacijom feler bančer → ručno-strojna izrada drva motornom pilom → forvarder pri čemu je gaženje tla svedeno na 26 %. Kod sustava harvester – forvarder, pri kojem harvester prilazi svakom stablu (eng. *drive-to-tree system*) gaženje je tla iznosilo 39 %, dok je kod upotrebe konjskih sprega gaženje iznosilo 42 %. Ti su rezultati upitni zato što se prema općeprihvaćenoj organizaciji rada harvester treba kretati (nakon njega i forvarder) po unaprijed određenim sekundarnim šumskim prometnicama pri čemu se gaženje tla smanjuje na najmanju moguću mjeru.

Provodeći istraživanja u devet različitih sastojina u francuskim šumama, Bigot i Cacot (2002) zaključuju da se kod ručno-strojne sječe i izradbe te privlačenja drva skiderom odnosno forvarderom udio gaženoga tla kretao od 38 % u prorednim sječinama, dok je kod dovršnoga sijeka taj udio iznosio do 54 % površine sječne jedinice. Smatraju da je tako velik iznos gaženja tla posljedica loše organizacije privlačenja drva, što znači da bi vozači prije početka rada trebali odvojiti vrijeme da pregledaju radilište, pogotovo osjetljiva područja na njemu, raspored srušenih stabala te površinske prepreke mada bi sve te aktivnosti trebalo provesti prije sječe, tj. prvo odrediti sekundarne šumske prometnice prema kojima se određuje smjer rušenja stabala. Isti autori navode da bi privlačenje drva trebalo biti racionalizirano podjednako iz ekonomskih i okolišnih razloga. Radi smanjenja oštećenja staništa iznose nekoliko jednostavnih savjeta:

- ⇒ nužna je dobra organizacija svih sastavnica izvođenja radova uz koordinaciju među njima,
- ⇒ posebnu pažnju posvetiti okolišno prihvatljivom načinu privlačenja drva (kretanje vozila isključivo po predodređenim sekundarnim šumskim prometnicama kako bi se smanjilo gaženje tla),
- ⇒ na osjetljivim šumskim staništima preporučuje se pokrivanje traktorskih vlaka šumskim ostatkom radi smanjenja dubine kolotraga i zbijanja tla,
- ⇒ upotreba je lanaca i polugusjenica nužna samo ako to uvjeti na terenu zahtijevaju.

Lanford i Stokes (1995) zaključuju da privlačenje skiderima primjenom stablovne metode izradbe uzrokuje veći udio gažene površine te veće zbijanje tla u odnosu na izvoženje sortimentnom metodom izrađenoga drva forvarderima. McNeel i Ballard (1992) smatraju da kod sustava harvester – forvarder sekundarne prometnice zauzimaju manje od 20 % ukupne površine sastojine. Bettinger i dr. (1994) dolaze do sličnih zaključaka gdje ukupan udio sekundarnih prometnica zauzima 23 % površine sječne pri istom sustavu pridobivanja drva.

Istražujući gaženje tla kod čiste sječe topole feler bančerom te privlačenja cijelih stabala skiderom s kje-

štima, Zenner i dr. (2007) zaključuju da ukupan udio površine traktorskih vlaka u odnosu na površinu sječne iznosi 31 %.

Han je (2006) uspoređivao dva radilišta sličnih značajki pri čistoj sječi duglazije i zaključio da pri sortimentnoj metodi upotrebom harvestera i forvardera gaženje tla iznosi 20 %, a kod stablovne metode izradbe upotrebom feler bančera, procesora i skidera s klijestima i hvatalom gaženje tla iznosi 25 % površine sječne jedinice.

McMahon i dr. (1999) istražuju gaženje tla pri sječi kalifornijskoga bora bagerom opremljenim sječnom glavom te privlačenje stabala skiderom s klijestima. Njihovi rezultati pokazuju da je čak 66 % površine sječne izgaženo, pri čemu je 20 % izgažene površine bilo opterećeno s više od 20 prolazaka vozila, što autori smatraju prevelikim oštećenjem tla.

U gotovo svim navedenim slučajevima osnova je za prikupljanje podataka o gaženju tla vozilom analiza koordinata dobivenih u GIS-u pomoću GPS-ova sustava, odnosno GPS-ova prijamnika ugrađenoga na praćeno vozilo. Na taj se način Han i dr. (2009) služe GPS-ovim uređajem za snimanje putanja kretanja skidera i forvardera pri privlačenju drva izrađenoga različitim metodama. Snimanje je koordinata bilo namješteno na svakih 15 m kretanja vozila, a dobiveni su rezultati služili za izračun površine gaženja tla sastojine uz pomoć programskoga paketa ArcGIS 9.1.

Han (2006) spominje da je prikupljanje, odnosno obrada dobivenih podataka u ovisnosti o broju prolaza vozila na opisani način složena, ali u konačnici omogućuje jasan vizualan prikaz jako opterećenih šumskih površina. Takav način ujedno omogućuje i stvaranje baze podataka kretanja strojeva po sječini (Bettinger i dr. 1994) koja se može koristiti za buduće planiranje izvođenja radova, odnosno odabira najpogodnijega sustava pridobivanja drva.

Velik broj istraživanja upućuje na to da se najveći negativan utjecaj na tlo događa upravo nakon prvoga prolaza vozila (Lacey i Ryan 2000, Startsev i McNabb 2000, Nugent i dr. 2003, Poršinsky 2005, Poršinsky i Stankić 2006). Ta tvrdnja ide u korist činjenici da se vozilo treba kretati isključivo po unaprijed predodređenim sekundarnim šumskim prometnicama. Budući da je neoštećeno šumsko tlo osnovni preduvjet za nesmetan razvoj vegetacije i mikroorganizama u tlu, njegovo se zbijanje treba spriječiti što je više moguće (Amporter i dr. 2009.).

Gaženje ovisi u prvom redu o primijenjenoj tehnologiji i metodi rada, organiziranosti i pripremi rada, upotrijebljenim sredstvima rada i sl., dok zbijanje tla ovisi uglavnom o vozilu, stanju i svojstvima tla te masi

Tablica 1. Model procjene oštećenja staništa (Wästerlund 2002)**Table 1** Model for site disturbance assesment (Wästerlund 2002)

Dubina kolotraga, cm <i>Rut depth, cm</i>	Izgažena površina, % od površine sječne jedinice – <i>Disturbed area, % of cut-block area</i>			
	< 10 %	10 – 20 %	20 – 30 %	> 30 %
< 5 cm	Nema – <i>No</i>	Nema – <i>No</i>	Malo – <i>Some</i>	Veliko – <i>Great</i>
5 – 9,9 cm	Nema – <i>No</i>	Malo – <i>Some</i>	Veliko – <i>Great</i>	Vrlo veliko – <i>Serious</i>
10 – 14,9 cm	Malo – <i>Some</i>	Veliko – <i>Great</i>	Vrlo veliko – <i>Serious</i>	Vrlo veliko – <i>Serious</i>
15 – 19,9 cm	Veliko – <i>Great</i>	Vrlo veliko – <i>Serious</i>	Vrlo veliko – <i>Serious</i>	Neprihvatljivo – <i>Unacceptable</i>
> 20 cm	Neprihvatljivo – <i>Unacceptable</i>			

tereta koji se privlači (Šušnjar 2005, Šušnjar i dr. 2006, Poršinsky i dr. 2011, 2012).

Skandinavski model za procjenu razine oštećenja staništa pri izvoženju drva forvarderima (tablica 1) prikazuje Wästerlund (2002). Navedeni model procjenjuje razinu oštećenja tla na osnovi izgažene površine sječne jedinice i dubine kolotraga.

Poršinsky (2005) na temelju vlastitih rezultata te na temelju rezultata više istraživanja navedenih autora zaključuje da se na gaženje tla uz pojedine značajke vozila najviše može utjecati pripremom rada i drugim organizacijskim mjerama.

Cilj je ovoga istraživanja utvrditi gaženje tla pomoću GPS-ova uređaja koji je sastavni dio mobilne jedinice, odnosno FMS-a pri izvoženja drva (trupaca, energijskoga drva i šumskoga ostatka) forvarderom iz sastojina hrasta lužnjaka u kojima je proveden dovršni sijek.

3. Mjesto, objekt i metode istraživanja *Place, object and methods of research*

Istraživanje je gaženja tla pri izvoženju drva provedeno u nizinskim lužnjakovim šumama donje Posavine u odsjeku 64f, gospodarske jedinice Debrinja, Šumarije Strošinci, Uprave šuma podružnice Vinkovci. Odsjek 64f je zrela (dob 121 godina), mješovita, dvoetažna sastojina hrasta lužnjaka s običnim grabom (*Carpino betuli-Quercetum roboris* Horvat 1938) s primiješanim poljskim jasenom, klenom, vezom i topolom, vrlo dobre kakvoće, stablimične strukture i potpunoga sklopa, nastala iz sjemena. Sastojina se razvila na ravnom terenu nadmorske visine 80 m, koji čini prijelaz nize ka gredi. Pripada uređajnomu razredu hrasta lužnjaka (gospodarenje uz ophodnju od 140 godina), odnosno ekološko-gospodarskomu tipu II-G-10. Ploštine je 8,12 ha, sa srednjom udaljenosti privlačenja od 200 m.

Sukladno smjernicama gospodarenja, u odsjeku je 2012. proveden dovršni sijek radi obnove sastojine, pri

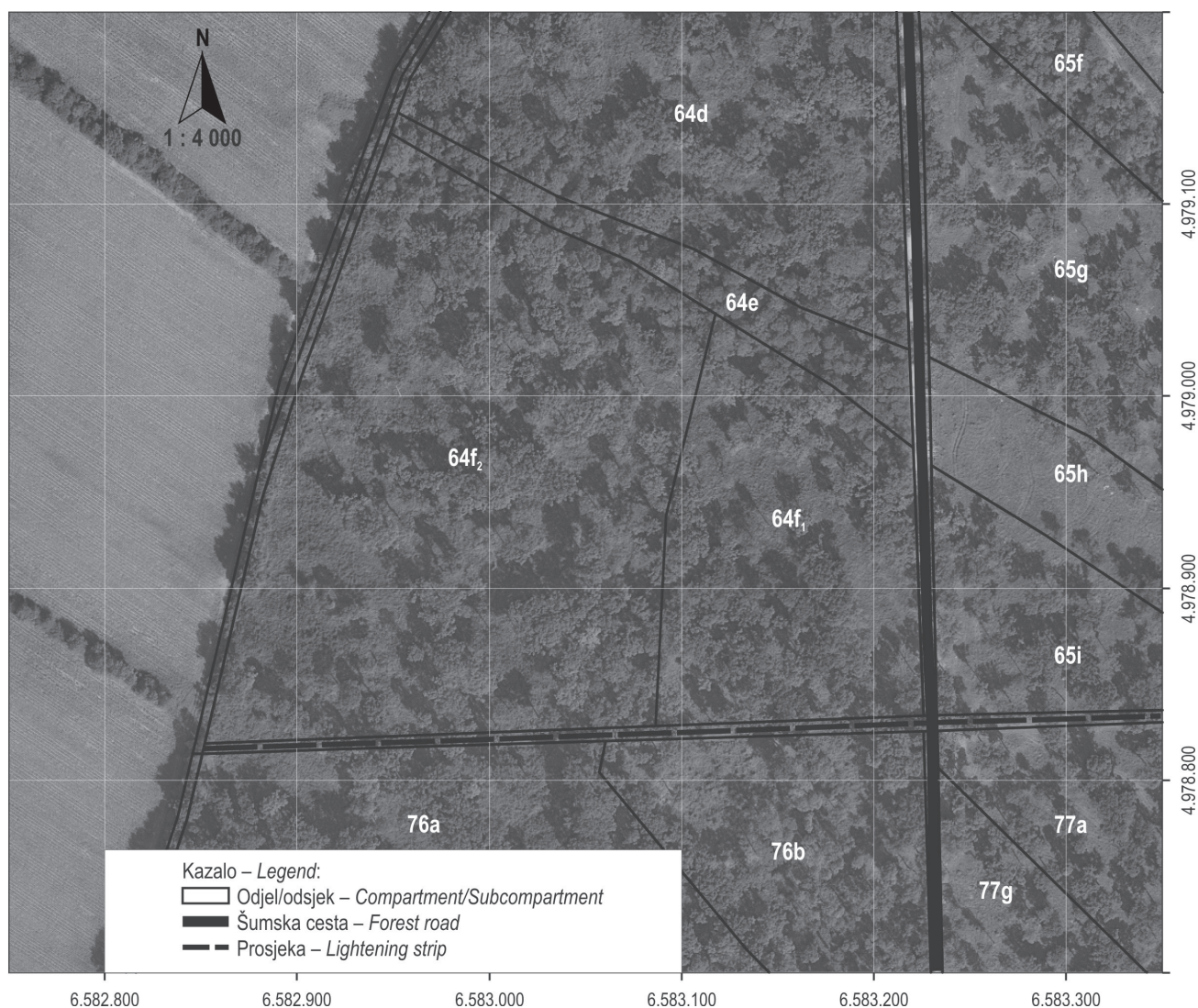
čemu je doznačeno 1 818 m³ hrasta lužnjaka i 288 m³ poljskoga jasena. Na osnovi podataka iz obračuna doznačne knjižice i plana sječa bruto je sječna gustoća 259,4 m³/ha (~ 42 stabla po hektaru), a neto sječna gustoća 211,1 m³/ha. Sječna je gustoća tehničke oblovine 156 m³/ha, a prostornoga (ogrjevnoga) drva 55 m³/ha. Obujam srednjega sječnoga stabla iznosi 6,17 m³.

Tijekom pridobivanja drva u odsjeku 64f privlačenje je bilo vremenski odvojeno od sječe i izradbe drva. Sječu su stabala uz sortimentnu metodu izradbe tehničke oblovine izveli šumarijski radnici nakon čega je započelo izvoženje drva. Za potrebe istraživanja gaženja tla tijekom izvoženja drva odsjek je bio podijeljen na dva dijela, odnosno na sječine 64f₁ i 64f₂ (slika 1).

U sječini 64f₁ površine 2,44 ha prvo je forvarder izvezio izrađene trupce i višemetarsko ogrjevno drvo, nakon čega je u sklopu samoizradbe lokalno stanovništvo izvezilo jednometarsko ogrjevno drvo poljoprivrednim traktorima s (polu)prikolicama te je naposljetku naknadno forvarder izvezio uhrpani šumski ostatak (drvo < 7 cm promjera s korom).

U sječini 64f₂ površine 5,7 ha prvo je forvarder izvezio izrađene trupce, a zatim energijsko drvo kod kojega su krošnje stabala trupljene s nekoliko rezova isključivo radi mogućnosti utovara dizalicom, odnosno poboljšanja iskoristivosti utovarnoga prostora forvardera. Nakon istovara energijsko je drvo ostavljeno da »odleži« na pomoćnom stovarištu radi sušivanja, a zatim je usitnjeno u drvnu sječku iveračima. Takvim izvoženjem energijskoga drva racionalizira se izradba ogrjevnoga drva, smanjuje količina neizrađenoga krupnoga drva stabla, odnosno povećava količina privučenoga drva na pomoćno stovarište za iznos šumskoga ostatka u jednom tehnološkom zahvatu.

U istraživanim sječinama u trenutku izvoženja drva nije postojala mreža obilježenih sekundarnih



Slika 1. Položaj istraživanih sječina 64f1 i 64f2, GJ Debrinja, Šumarija Strošinci

Fig. 1 Position of researched cut-blocks 64f1 and 64f2, Management Unit Debrinja, Forest Office Strošinci

šumskih prometnica – traktorskih vlaka, niti su vozači forvardera dobili smjernice za izvoženje drva.

Za snimanje koordinata položaja, odnosno duljine putanja kretanja forvardera tijekom izvoženja drva radi izračuna gaženja tla, korišten je GPS-ov uređaj ugrađen u mobilnu jedinicu (FM 4200) FMS-a. Ovdje se radilo o *uBlox NEO-5M*, 50-kanalnom prijamniku osjetljivosti -160 dBm. Snimanje je kretanja vozila bilo namješteno na interval od 30 sekundi.

Prije početka izvoženja drva, a nakon završene sječe i izradbe stabala, snimljen je njihov položaj na tlu, odnosno položaj panja, deblovine i krošnje svakoga pojedinoga stabla. Snimanje je obavljeno s DGPS-ovim sustavom *RTK Magellan ProMark 500* (u daljnjem tek-

stu RTK). RTK pokazuje učinkovitost i brz napredak u današnjem razvoju tehnologija, i to najviše zbog mogućnosti pribavljanja koordinata trenutačno i na razini centimetarske točnosti (Pirti i dr. 2010).

Snimljene koordinate položaja kretanja forvardera, ali i položaja srušenih stabala obrađene su u računalnoj aplikaciji *ESRI ArcGIS 9.3*.

Tijekom istraživanja drvo je izvezio 8-kotačni forvarder Valmet 860.4 čija deklarirana masa iznosi 16 060 kg, odnosno izmjerena vaganjem 18 750 kg. Nazivna nosivost ovoga forvardera iznosi 14 000 kg. Prilikom rada forvarder nije imao polugusjenice zato što je nosivost tla bila zadovoljavajuća ($CI_{15} > 1,2$ MPa), a bio je opremljen gumama dimenzije 600/55 × 26,5. Ukupna

Izvoženje drva – odsjek 64f₁
Timber Forwarding – subcompartment 64f₁

Izvoženje trupaca i višemetarskog ogrjevnog drva forvarderom
Extraction of logs and long fuelwood by forwarder



Izvoženje drva – odsjek 64f₂
Timber Forwarding – subcompartment 64f₂

Izvoženje trupaca forvarderom
Extraction of logs by forwarder



Izvoženje jednogmetarskog ogrjevnog drva traktorom s poluprikolicom
Extraction of 1-m long fuelwood by farm tractor with semitrailer



Izvoženje energijskog drva forvarderom
Extraction of energy wood by forwarder



Izvoženje šumskoga ostatka forvarderom
Extraction of forest residues by forwarder



Slika 2. Shema izvoženja drva tijekom istraživanja

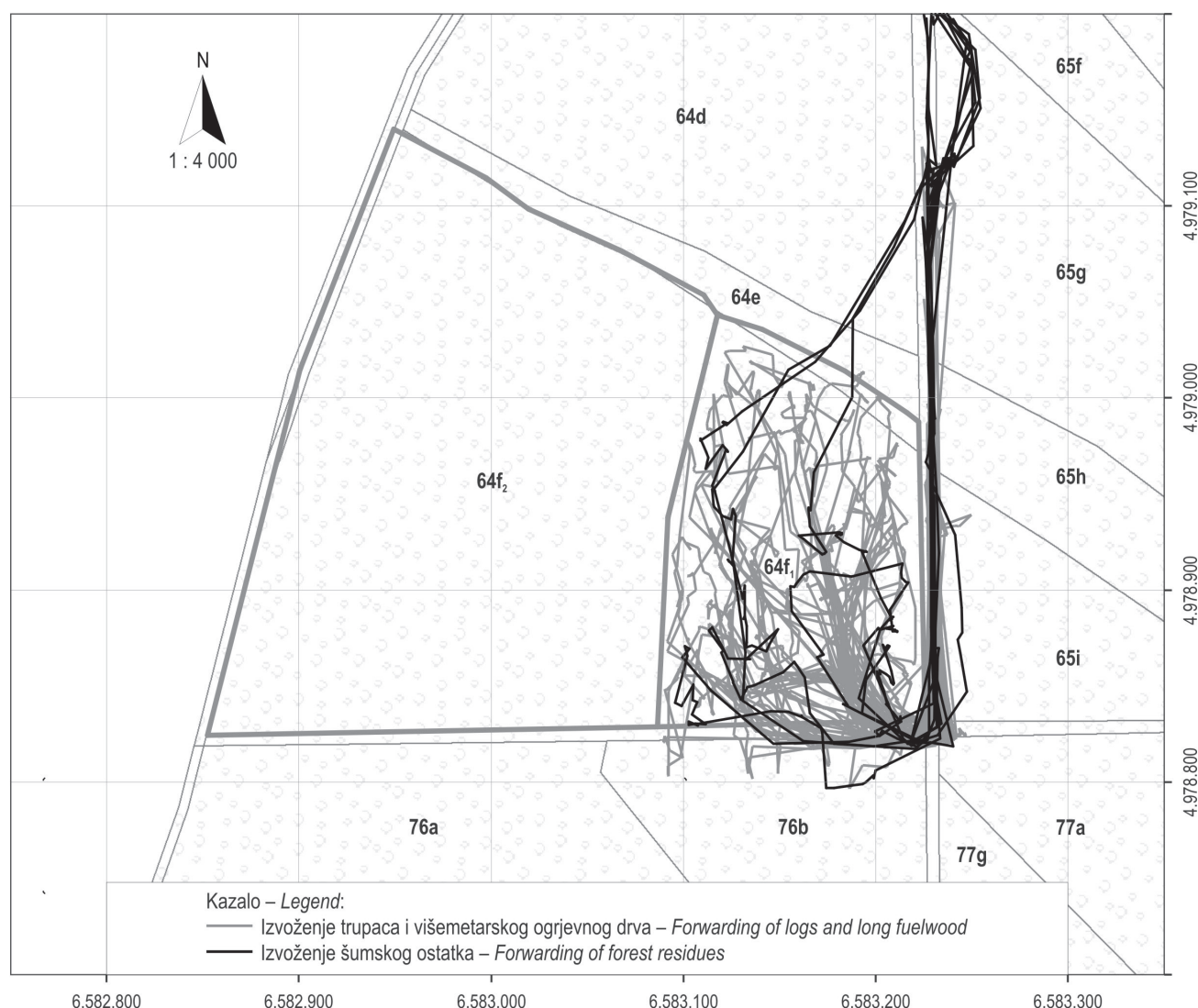
Fig. 2 Working scheme of timber forwarding during research

širina gaženja tla voznim sustavom forvardera u ovom slučaju iznosi 1,2 m. Navedena širina guma korištena je u izračunu površine gaženja tla zajedno s prijašnjom udaljenosti dobivenom obradom snimljenih koordinata kretanja forvardera.

Obradom snimljenih koordinata u računalnoj aplikaciji ESRI ArcGIS 9.3 za svaki turnus posebno dobivena je duljina puta gaženja tla sječne. Pod tom duljinom razumijeva se gaženje prethodno negaženoga tla u razdoblju izvoženja (izuzevši duljinu puta već prethodno gažene površine). Množenjem ukupne širine dodirne površine kotača (1,2 m) duljinom gaženja tla dobivena je površina gaženja tla.

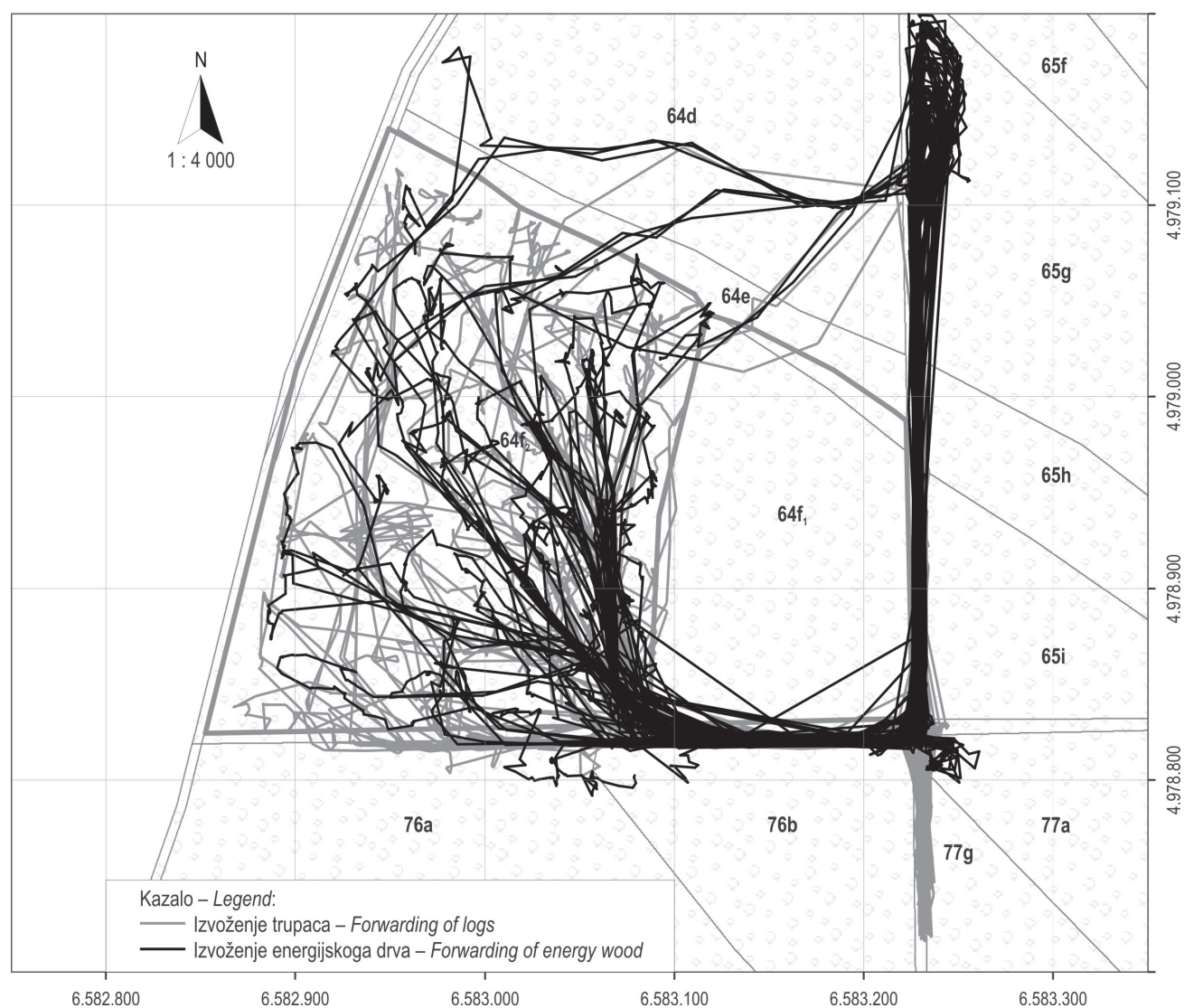
4. Rezultati – Results

Obradom podataka kretanja forvardera utvrđeno je da u odsjeku 64f₁ nakon izvoženja 41-oga tovara trupaca i višemetarskoga ogrjevnoga drva udio gažene površine iznosi 26,94 %, a naknadnim ulaskom forvardera radi izvoženja šest tovara šumskoga ostatka udio se gažene površine povećao za 5,01 %, što ukupno iznosi 31,95 % gaženja tla sječne jedinice (slika 3). Gaženje tla pri izvoženju jednog metarskoga ogrjevnoga drva poljoprivrednim traktorima s (polu)prikolicama nije prikazano na slici 3 jer su se putanje kretanja vozila poklapale s putanjama kretanja forvardera tijekom



Slika 3. Karta gaženja tla u sječini 64f₁ nakon izvoženja trupaca i višemetarskoga ogrjevnoga drva te naknadnoga izvoženja šumskoga ostatka

Fig. 3 Map of soil disturbance in cut-block 64f₁ after logs and forest residue extraction



Slika 4. Karta gaženja tla u sječini 64f₂ nakon izvoženja trupaca te naknadnoga izvoženja energijskoga drva

Fig. 4 Map of soil disturbance in cut-block 64f₂ after extracting logs and energy wood

izvoženja trupaca i višemetarskoga ogrjevnoga drva, odnosno šumskoga ostatka.

Nakon izvoženja trupaca iz odsjeka 64f₂ udio gažene površine iznosio je 21,05 % površine sječne jedinice, a naknadnim izvoženjem energijskoga drva udio se gažene površine povećao za dodatnih 12,26 % (slika 4). Ukupni udio izgažene površine tla u odsjeku 64f₂ po završetku izvoženja iznosio je 33,31 %.

Najveće je ukupno gaženje tla utvrđeno pri izvoženju trupaca i energijskoga drva iz odsjeka 64f₂ (33,31 %), iako je najveća količina drva po jedinici površine izvezena iz odsjeka 64f₁ (242,98 t/ha). Analizirajući gaženje tla forvarderom pri izvoženju klasično izrađene oblovine, najveće je gaženje ostvareno pri skupnom

izvoženju trupaca i višemetarskoga ogrjevnoga drva (26,94 %) iz odsjeka 64f₁. Glavni je razlog tomu velika količina drva po jedinici površine (236,23 t/ha). U odsjeku 64f₂ količina izvezenih trupaca iznosila je 146,89 t/ha, što je 90 t/ha ili 38 % manje u odnosu na odsjek 64f₁. Zbog toga je dobiveno i manje gaženje (21,05 %), što je za 5,89 % ili u relativnom odnosu 22 % manje u odnosu na gaženje u odsjeku 64f₁.

Prema kartama prikazanim na slikama 3 i 4 može se jasno uočiti lepezast način kretanja forvardera na objema istraživanim sječinama. Kako su istraživane sječine 64f₁ i 64f₂ gotovo pravilnih dimenzija bez značajnijih površinskih prepreka, udio gažene površine kretanjem forvardera isključivo po predodređenoj i obilježenoj

Tablica 2. Gaženje tla i količina izvezenoga drva**Table 2** Site disturbance and quantity of forwarded wood

	Sječina – Cutblock 64f ₁ (2,44 ha)				Sječina – Cutblock 64f ₂ (5,70 ha)			
	Gaženje tla Site disturbance		Izvezeno drvo Forwarded wood		Gaženje tla Site disturbance		Izvezeno drvo Forwarded wood	
	m ²	%	t/ha	m ³ /ha	m ²	%	t/ha	m ³ /ha
Trupci (i) višemetarsko ogrjevno drvo Logs (and) long fuelwood	6.572	26,94	236,23	236,73	11.997	21,05	146,89	149,76
Šumski ostatak / energijsko drvo Forest residues/ Energy wood	1.223	5,01	6,75	–	6.990	12,26	67,33	–
Ukupno – Total	7.795	31,95	242,98	–	18.987	33,31	214,22	–

**Slika 5.** Karta istraživanih sječina (64f1 i 64f2) s prijedlogom sekundarnoga otvaranja**Fig. 5** Felling area 64f1 and 64f2 map with ideal skid trail network

mreži sekundarnih šumskih prometnica – traktorskih vlaka (slika 5) može se uvelike smanjiti.

Karta na slici 5 prikazuje prijedlog sekundarnoga otvaranja istraživanih sječina 64f₁ i 64f₂. Traktorske su vlake raspoređene okomito na prosjeku koja prolazi južnom stranicom odjela 64 i koja je isto tako u funkciji sekundarnoga otvaranja šuma. Međusobna udaljenost usporedne mreže traktorskih vlaka iznosi od 20 do 25 m, što omogućuje utovar drva dizalicom dohvata 10 m uz usmjereno rušenje stabala. Takvim rasporedom u odsjeku 64f₁ ukupno je postavljeno 6 traktorskih vlaka prosječne duljine 200 m. Širina gaženja tla istraživanim forvarderom iznosi 3 m, što približno odgovara širini forvardera, ali i širini šljukare (traktorske vlake). Na temelju iznesenih podataka ukupna gažena površina iznosi 3 600 m², što je u konačnici udio gaženoga tla od 15 % površine sječine. Prema vrijednostima u tablici 2 izmjereno gaženje tla za istraživanu sječinu (64f₁) iznosi 26,94 % (31,95 %) površine, što je dvostruko veći iznos u odnosu na gaženje tla kada bi se forvarder kretao po predloženoj usporednoj mreži traktorskih vlaka.

Ukupna površina idealno postavljenih traktorskih vlaka u odsjeku 64f₂ iznosi 7 080 m², a dobivena je na temelju njihova međusobnoga rasporeda u iznosu od 20 do 25 m, širine gaženja tla u iznosu 3 m i prosječne duljine traktorskih vlaka od 270 m. Pri tome udio površine pod sekundarnim šumskim prometnicama (gaženoga tla) iznosi samo 12,5 %, što je u odnosu na podatke iznesene u tablici 2 gotovo upola manje u odnosu na izmjerene vrijednosti gaženja tla pri izvoženju trupaca (21,05 %), odnosno 2,5 puta manje nakon izvoženja trupaca i energijskoga drva (33,31 %).

5. Rasprava – Discussion

Iz prikazanih rezultata istraživanja uočljivo je da veća količina drva po jedinici površine ne znači i jednak postotak povećanja gaženja tla pri izvoženju drva forvarderom.

U sječinama 64f₁ i 64f₂ izmjerene su dubine kolotraga od 12 cm i 11 cm, a ukupno gaženje tla prelazi 30 % površine sječina (31,95 % i 33,31 %), što je prema skandinavskom modelu procjene razine oštećenja staništa nakon izvoženja drva forvarderom (Wästerlund 2002) vrlo veliko oštećenje (tablica 1).

Snimanje koordinata položaja forvardera Valmet 860.4 bilo je namješteno na interval od 30 sekundi. Takav je vremenski interval ipak previše dugotrajan da bi se s velikom preciznošću mogla utvrditi stvarna duljina puta kretanja forvardera, odnosno točno izračunati udio gaženja tla sječine.

Kako se forvarder po istraživanim sječinama kretao bez ikakvih smjernica, kao dokaz da se pravilnim planiranjem sekundarne mreže šumskih prometnica može u znatnoj mjeri smanjiti udio gažene površine, izračunat je udio gažene površine za sječine 64f₁ i 64f₂ kod usporedne mreže traktorskih vlaka međusobnoga razmaka 20 – 25 m. Pri tome udio gaženoga tla iznosi samo 12,5 %, što je u odnosu na izmjerene vrijednosti gotovo upola manje pri izvoženju trupaca (21,05 %), odnosno 2,5 puta manje nakon izvoženja trupaca i energijskoga drva (33,31 %).

6. Zaključci – Conclusions

Brojni su autori u svojim istraživanjima dokazali da se dobrim organizacijskim mjerama gaženje tla može svesti na najmanju mjeru.

Rezultati ovoga istraživanja pokazuju da se u pridobivanju drva, počevši od same sječe, odnosno usmjerenoga rušenja stabala pa do pravilno planirane mreže sekundarnih šumskih prometnica gaženje tla pri izvoženju drva forvarderom može smanjiti za čak 2,5 puta.

Sadašnje stanje izvođenja radova, odnosno dobiveni rezultati govore da bi na poboljšanju organizacije radova svakako trebalo poraditi jer je gaženje tla prevlako, odnosno prema skandinavskom modelu oštećenje se tla kreće od velikoga do neprihvatljivoga, ovisno o nastaloj dubini kolotraga.

Kao posljedica dobro organiziranoga radilišta, osim manjega gaženja tla, zasigurno bi bilo i utjecaja na proizvodnost izvođenja radova. Pri tome se misli na povećanje učinkovitosti zbog smanjenja vremena kretanja po sastojini pa se može očekivati i smanjenje energijske potrošnje.

7. Literatura – References

- Ampoorter, E., K. Verheyen, M. Hermy, 2009: Soil damage after mechanized harvesting: Results of a meta-analysis. 2009 Council on Forest Engineering (COFE) Conference Proceedings: »Environmentally Sound Forest Operations«. Lake Tahoe, June 15–18, 2009, 1–12.
- Bettinger, P., D. Armlovich, L. D. Kellogg, 1994: Evaluating area in logging trails with a Geographic Information System. *Am. Soc. Agri. Eng.* 37(4): 1327–1330.
- Bigot, M., E. Cacot, 2002: Why and how should French foresters face the question of site disturbances in logging operations? Council on Forest Engineering (COFE) Conference Proceedings: »A Global Perspective« Auburn, June 16–20, 2002, 1–6.

- Grigal, D. F., 2000: Effects of extensive forest management on soil productivity. *For. Ecol. Manag.* 138 (1–3): 167–185.
- Han, S.-K., 2006: Impacts on soils from cut-to-length and whole tree harvesting. Master thesis, College of Natural Resources, University of Idaho, 1–36.
- Han, S.-K., H.-S. Han, D. Page-Dumroese, L. R. Johnson, 2009: Soil Compaction associated with cut-to-length and whole-tree harvesting of coniferous forest. *Can. J. For. Res.* 39(5): 976–989.
- Horvat, D., 1993: Prilog proučavanju prohodnosti vozila na šumskom tlu. Disertacija, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 1–234.
- Horvat, D., 1994: Penetrometar – mjerilo za procjenu sabijenosti šumskoga tla (Penetrometer – measuring device for estimation of forest soil compaction). *Mehanizacija šumarstva* 19(3): 161–171.
- Krpan, A. P. B., 1992: Iskorišćivanje šuma. U: Šume u Hrvatskoj, Đ. Rauš (ur.), Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 153–170.
- Krpan, A. P. B., 2000: Mogućnosti primjene vrhunskih tehnologija pri iskorištavanju šuma u Hrvatskoj (Possibilities of implementation of high technologies in forest harvesting in Croatia). U: Zbornik, Znanstveni skup »Vrhunske tehnologije u uporabi šuma« održan 11. travnja 2000. u Zagrebu, M. Figurić (ur.), HAZU, Znanstveno vijeće za poljoprivredu i šumarstvo, Zagreb, 45–63.
- Lacey, S. T., P. J. Ryan, 2000: Cumulative management impacts on soil physical properties and early growth of *Pinus radiata*. *Forest Ecology and Management* 138(1): 321–333.
- Lanford, B. L., B. J. Stokes, 1995: Compaction of two thinning systems: Part 1. Stand and site impacts. *For. Pro. J.* 45(5): 74–79.
- McMahon, S., R. Simcock, J. Dando, C. Ross, 1999: A fresh look at operational soil compaction. *New Zealand Journal of Forestry* 44(3): 33–37.
- McNeel, J. F., T. M. Ballard, 1992: Analysis of site stand impacts from thinning with a harvester-forwarder system. *J. For. Eng.* 4(1): 23–29.
- Nugent, C., C. Kanali, P. M. O. Owende, M. Nieuwenhuis, S. Ward, 2003: Characteristic site disturbance due to harvesting and extraction machinery traffic on sensitive forest sites with peatsoils. *Forest Ecology and Management* 180: 85–98.
- Quesnel, H., M. Curran, 2000: Shelterwood harvesting in root disease infected forests in southeastern British Columbia: post-harvest soil compaction. EP-1186. Extension Note EN-048. Forest Sciences Section, Nelson Forest Region, BC-MOF. Nelson, BC.
- Pandur, Z., 2013: Primjena komercijalnog sustava za praćenje rada strojeva u istraživanju izvoženja drva forvarderom. Disertacija, Šumarski fakultet sveučilišta u Zagrebu, 1–312.
- Pirti, A., K. Gümüš, H. Erkaya, R. G. Hoşbaş, 2010: Evaluating Repeatability of RTK GPS/GLONASS Near/Under Forest Environment. *Croatian Journal of Forest Engineering* 31(1): 23–33.
- Poršinsky, T., 2005: Djelotvornost i ekološka pogodnost forvardera Timberjack 1710B pri izvoženju oblovine iz nizinskih šuma Hrvatske. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–170.
- Poršinsky, T., I. Stankić, 2006: Okolišna pogodnost forvardera Timberjack 1710B pri izvoženju oblovine iz nizinskih šuma Hrvatske (Environmental Evaluation of Timberjack 1710B Forwarder on Roundwood Extraction from Croatian Lowland Forests). *Glasnik za šumske pokuse, posebno izdanje* 5: 589–600.
- Poršinsky, T., I. Stankić, A. Bosner, 2011: Djelotvorno i okolišno prihvatljivo izvoženje drva forvarderom temeljem analize nominalnoga tlaka na podlogu. *Croatian Journal of Forest Engineering* 31(1): 345–356.
- Poršinsky, T., T. Pentek, A. Bosner, I. Stankić, 2012: Ecoefficient Timber Forwarding on Lowland Soft Soils. In: *Global Perspectives on Sustainable Forest Management* (ed: C. A. Okia), In Tech, 275–288.
- Reisinger, T. W., P. E. Pope, S. C. Hammond, 1992: Natural recovery of compacted soils in an upland hardwood forest in Indiana. *North. J. Appl. For.* 9: 138–141.
- Rieppo, K., A. Kariniemi, R. Haarlaa, 2002: Possibilities to develop machinery for logging operations on sensitive forest sites. Department of forest resource management, University of Helsinki, Finland, Publications, 29, 1–30.
- Robek, R., D. Matthies, 1996: Soil and tree disturbances due to forest operations – an unresolved, interdisciplinary issue. *Phyton Horn* 36(3): 181–186.
- Rummer, B., 2002: Chapter 15: Forest Operations Technology. U: N. David Wear, John G. Greis (ur.), Southern forest resource assessment. Gen. Tech. Rep. SRS-53. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station, 341–353.
- Seixas, F., B. Stokes, B. Rummer, T. McDonald, 1995: Harvesting soil impacts for selected silvicultural prescriptions. U: The way ahead with harvesting and transportation technology: Proceedings of the IUFRO P3.07 meeting. International Union of Forestry Research Organizations, Beč, 230–238.
- Sever, S., 1980: Istraživanje nekih eksploatacijskih parametara traktora kod privlačenja drva. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–301.
- Slabak, M., 1983: Forvarderi u svijetu i kod nas. Zbornik radova »Mehanizacija šumarstva u teoriji i praksi«, Opatija, 351–361.
- Startsev, A. D., D. H. McNabb, 2000: Effects of skidding on forest soil infiltration in west-central Alberta. *Canadian Journal of Soil Science* 80: 617–624.
- Šušnjar, M., 2005: Istraživanje međusobne ovisnosti značajki tla traktorske vlake i vučne značajke skidera. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–146.

Šušnjar, M., D. Horvat, J. Šešelj, 2006: Soil compaction in timber skidding in winter conditions. *Croatian Journal of Forest Engineering* 27(1): 3–15.

Vossbrink, J., R. Horn, 2004: Modern forestry vehicles and their impact on soil physical properties. *Eur. J. Forest Res.* 123: 259–267.

Wästerlund, I., 2002: Soil disturbance in forestry: Problems and perspectives. *Proceedings of the International Seminar*

on New Roles of Plantation Forestry Requiring Appropriate Tending and Harvesting Operations, September 29 – October 5, 2002, Tokyo, Japan, The Japan Forest Engineering Society & IUFRO WG 3.04/3.06/3.07, 312–315.

Zenner, E. K., J. T. Fauskee, A. L. Berger, K. J. Puettman, 2007: Impacts of skidding traffic intensity on soil disturbance, soil recovery, and aspen regeneration in North Central Minnesota. *North. J. Appl. For.* 24(3): 177–183.

Abstract

Soil Disturbance during Timber Forwarding in Cut-Blocks of Common Oak

Soil disturbance, as a result of the movement of forest vehicles, has a negative effect on the growth and increment of forest trees and hence should be kept at a minimum. Some of the measures for reducing soil disturbance are: selecting a suitable harvesting system, setting a skid trail network (with traffic surveillance) and oriented felling as a must.

This paper presents the soil disturbance in timber forwarding on two adjacent felling sites after the final felling of common oak. The investigated forwarder was equipped with Fleet Management System (FMS connection) that enables remote control of its work or its position while moving in the researched felling sites.

The results indicate that the site disturbance of the researched felling sites is too high (>30 % of cut block areas) and that by better work organization, soil disturbance can be reduced to an acceptable level.

Keywords: soil disturbance, forwarder, lowland forests, work organization, secondary opening

Adresa autorâ – Authors' addresses:

Dr. Sc. Zdravko Pandur*
e-pošta: pandur@sumfak.hr
Prof. dr. sc. Tomislav Poršinsky
e-pošta: porsinsky@sumfak.hr
Izv. prof. dr. sc. Marijan Šušnjar
e-pošta: susnjar@sumfak.hr
Marko Zorić, mag. ing. silv.
e-pošta: mzoric@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): 10. 1. 2014.

Prihvaćeno (Accepted): 18. 3. 2014.

Ocjena modificirane poludeblovne metode listača s dijelovima krošnje

Milorad Danilović, Dragomir Grujović, Boban Milovanović, Slavica Karić

Nacrtak – Abstract

U radu su prikazani rezultati istraživanja učinkovitosti primjene privlačenja drva skiderom, modificiranom poludeblovnom metodom listača s dijelovima krošnje u proredama obične bukve u Srbiji. Učinkovitost je primijenjene metode izradbe drva ocijenjena kvantitativnim i kvalitativnim pokazateljima. Ta je metoda izradbe drva prilagođena potrebama upotrebe šumskoga ostatka (neizrađenoga drva) u brdsko-planinskim uvjetima Republike Srbije. Učinci ostvareni primjenom modificirane poludeblovne metode izradbe listača s dijelovima krošnje očituju se u povećanju za oko 8 % privučenoga drva na pomoćno stovarište u odnosu na količinu drva koja se pridobije primjenom sortimentne metode. Oštećenja na ostalim stablima u sastojini nakon sječe nisu mnogo veća u odnosu na oštećenja koja nastaju primjenom sortimentne metode izradbe drva. Predloženom metodom izradbe drva rješava se problem privlačenja jednometarskoga prostornoga drva, bez potrebe za angažiranjem tovarnih konja (samarice).

Ključne riječi: metoda izradbe drva, brdsko-planinski uvjeti, obična bukva, šumski ostatak, oštećenja

1. Uvod – Introduction

Upotreba šumskoga ostatka u brdsko-planinskim uvjetima tehnološki je, ekonomski i ekološki problem. Potreba za tim izvorom sirovine za proizvodnju energije sve je veća, a pronalaženje optimalnih tehnoloških rješenja za njezino korištenje izazov je za šumarsku struku.

Metode izradbe drva koje su do sada opisane, promatrane s ekonomskoga i ekološkoga aspekta, nisu primjenjive kada je u pitanju iskorištavanje šumskoga ostatka u brdsko-planinskom području Srbije, ali i šire. U šumarstvu Republike Srbije najčešće se primjenjuju sortimentna metoda i inačica deblovne metode – tzv. metoda dijelova debala.

Primjenom tih metoda izradbe drva u šumi ostaje neiskorišten šumski ostatak, što se s ekološkoga gledišta može opravdati, ali ne i sa stajališta energetskih potreba.

Slična je situacija i u slučaju primjene deblovne metode izradbe drva, gdje su oštećenja u sastojini veća nego pri primjeni sortimentne metode (Picchio i dr. 2011). Stablovna je metoda izradbe drva, s tehnološkoga i ekološkoga motrišta neprimjenjiva s obzirom na to

da se cijelo stablo privlači iz šume uz nastanak velikih oštećenja na ostalim stablima i pomlatku (Laitila i Väättäinen 2012, Spinelli i dr. 2014).

Prema preporukama Švedske šumarske agencije broj oštećenih stabala nakon sječe ne bi trebao prelaziti 5 % od preostalog broja stabala u sastojini (Bäcke 1998). Vrsta, pojava i veličina oštećenja po završetku pridobivanja drva ovisi o sastojinskim i stanišnim prilikama, metodi izradbe drva, stupnju mehaniziranosti šumskih radova, gustoći sekundarne mreže šumskih prometnica, vremenskim prilikama, vještini izvršitelja šumskih radova (Doležal 1984, Vasilias 2001, Lageson 1997, Poršinsky i Ožura 2006, Petreš 2006, Nikooy 2007, Košir 2008, Bobik 2008, Tsioras i Liamas 2010, Kuramoto i dr. 2010, Nikooy i dr. 2010, Tavankar i Bodaghi 2011). U navedenim je istraživanjima analiziran utjecaj različitih čimbenika te obavljeni izračuni u ovisnosti o uvjetima rada. Nagib je terena jedan od mogućih čimbenika za nastanak većih oštećenja u brdsko-planinskim područjima (Stampfer i dr. 2001). Osim toga na pojavu i veličinu razine oštećenja u sastojini utječe osposobljenost, ali i motivacija rukovatelja mehaniziranim sredstvima za rad (Lageson 1997).

Oštećenja pri privlačenju drva bitno su manja pri dobroj pripremi rada, koja se u prvom redu odnosi na dobro isplaniranu mrežu sekundarnih šumskih prometnica te obvezno usmjereno rušenje stabala (Armstrong 2000, Bertault i Sist 1997, Sist i dr. 1998). Značenje usmjerenoga rušenja stabala na smanjenje razine oštećivanja sastojine, ali i na podizanje razine proizvodnosti privlačenja drva ističu u svojim istraživanjima Han i Kellogg (2000) te Pinard i dr. 1955.

Oštećenja sastojine tijekom pridobivanja drva nije moguće u potpunosti izbjeći, ali se određenim mjerama (postupcima) mogu uvelike smanjiti. Yilmaz i Akay (2008) predlažu zaštitu do 2 m visine debla stabla. Han i Kellogg (2000) ističu prednost zimske sječe u odnosu na ljetnu, kada je u pitanju pojava sastojinskih oštećenja. Primjenom određenih mjera zaštite nedoznačenih stabala smanjuje se mogućnost za pojavu fitopatoloških bolesti, koja u budućnosti utječu na kakvoću izrađenoga drva (Tsioras i Liamas 2010).

Izborom pogodnih tehnoloških rješenja u sastojinama različita uzgojnoga oblika i namjene šuma može se značajno utjecati na razinu oštećenja koja se javljaju na tlu, pomlatku te na ostalim stablima nakon sječe.

2. Problem i cilj istraživanja – *Problem and aim of research*

Ukupna površina šuma i šumskoga zemljišta u Srbiji iznosi 2 429 642 ha. Tekući (godišnji) volumni prirast iznosi oko 9,08 milijuna m³ (Banković i dr. 2009). Planirani sječivi etat iznosi približno 60 %, a ostvareni oko 39 % od tekućega volumnoga prirasta (Republički zavod za statistiku, Bilten 567, 2013).

U brdsko-planinskim uvjetima, gdje se primjenjuje sortimentna metoda izradbe drva listača, ostaje u šumi (kod panja) dio neiskorištenoga drva (granjevina, nadzemni dio panja, isječki, obrupci, porupci, brada, koljena grana, odresci sljepica, rašlje, gule i kratice). Radi se o količini drva koja nije zanemariva i koja može biti značajna sirovina za proizvodnju energije. Osim toga šumski ostatak (drvo < 7 cm promjera s korom) nije obuhvaćen planovima sječa jer ga ne sadrže ni tarife (jednoulazne tablice). Sitna granjevina u ukupnom obujmu nadzemnoga dijela listača sudjeluje s oko 13 %. U šumarskoj praksi računa se da šumski ostatak iznosi od 10 do 20 % od obujma krupnoga drva stabla (Nikolić i Bajić 1992). Količina šumskoga ostatka koju je moguće iskoristiti ovisi o većem broju čimbenika, a ponajprije o vrsti drveća, koja je predmet pridobivanja, ali i o utjecaju sastojinskih i stanišnih prilika. U nizinskim šumama, promatrano s proizvodnoga i ekonomskoga aspekta, moguće je iskoristiti veću količinu šumskoga ostatka u odnosu na šume u brdsko-planinskim područjima koje su izložene velikim nagibima terena, nedovoljnoj primarnoj otvorenosti mrežom šumskih cesta te potrebnom zaštitom tla od moguće erozije.

Čjelokupnu sitnu granjevinu nije poželjno u potpunosti iznijeti iz šume u prvom redu zbog biološkoga razloga. Naime, dijelove tanjih grana zajedno s folijarnim dijelom stabla (list, iglica) treba ostavljati u šumi jer se u tim dijelovima nadzemne biomase stabala nalazi najviše hraniva, čime bi njihovim iznošenjem iz šume izazvali osiromašivanje (degradaciju) staništa.

Šumski ostatak (dijelovi sitnih grana, isječki, obrupci, porupci, brada, koljena grana, odresci sljepica, rašlje, gule i kratice) promatran s biološkoga aspekta može biti predmet pridobivanja drva za energiju, međutim njegovo je korištenje u brdsko-planinskim područjima problematično zbog tehnoloških ograničenja.

Imajući na umu problem s kojim se šumarska struka suočava kada je u pitanju pridobivanje šumskoga ostatka iz sastojina listača u brdsko-planinskim područjima, 2010. godine započela su istraživanja na pronalaženju pogodnih tehnoloških rješenja pridobivanja šumske biomase u brdsko-planinskim uvjetima u Srbiji.

Razvijena je modificirana poludeblovna metoda listača s dijelovima krošnje radi pridobivanja drva većega od 3 cm promjera s korom i njegova privlačenja skiderom do pomoćnoga stovarišta. Drvo manje od 3 cm promjera s korom, kao i lisni dio stabala, ostavljeno je u šumi radi zadržavanja hraniva u staništu.

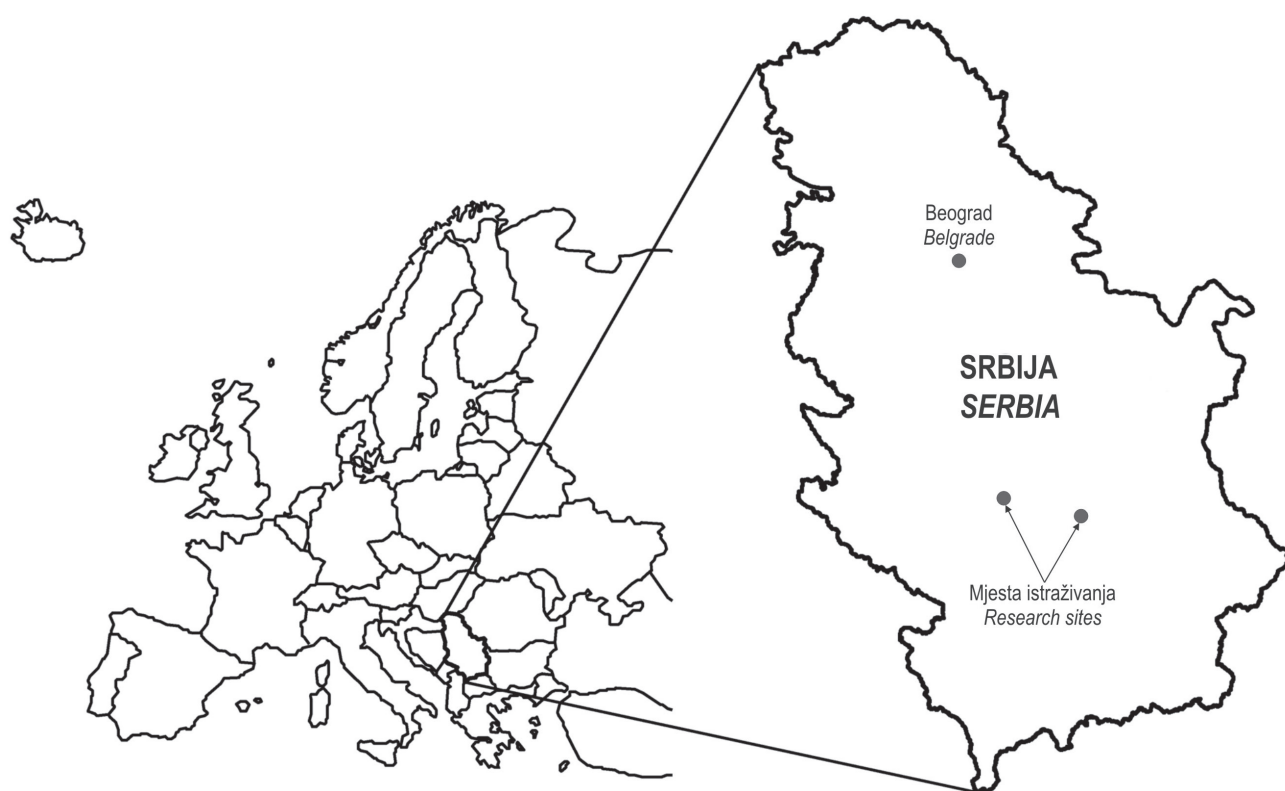
Ova su istraživanja zasnovana na ocjeni predložene metode izradbe drva da bi se povećala iskorištenost drva pri sječi i izradbi, ali i smanjilo oštećenje na ostalim stablima nakon sječe.

Cilj je istraživanja utvrđivanje količine šumskoga ostatka u sastojinama obične bukve nakon prorede, uz primjenu modificirane poludeblovne metode listača s dijelovima krošnje. Osim toga cilj je bio da se ocijeni učinkovitost primijenjene metode izradbe drva s aspekta pojave oštećenja na ostalim stablima nakon sječe.

Osnovna je hipoteza istraživanja da oštećenja izazvana primjenom modificirane poludeblovne metode listača s dijelovima krošnje nisu mnogo veća od oštećenja nastalih primjenom sortimentne metode izradbe drva, koja je prema svim dosadašnjim istraživanjima najprihvatljivija s okolišnoga stajališta.

3. Materijal i metode – *Material and Methods*

Istaživanja za potrebe ovoga rada obavljena su na dvije pokusne i dvije kontrolne plohe u visokim čistim

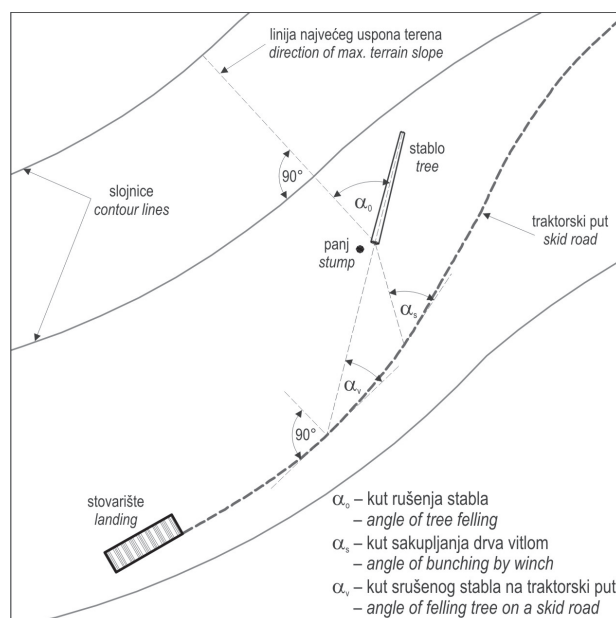
**Slika 1.** Mjesta istraživanja**Fig. 1** Research sites

sastojinama obične bukve u brdsko-planinskom području središnje Srbije (slika 1).

Svi radovi geodetske izmjere pokusnih ploha obavljani su mjerenjem pomoću GPS-ova prijamnika. Granice pokusnih i kontrolnih ploha snimljene su pri postavljanju pokusa, a prostorni raspored panjeva te smjer srušenih stabala snimljen je po završetku sječe stabala, dok su ostala dubeca stabla nakon sječe snimljena po završetku privlačenja drva. Snimano je RTK metodom pozicioniranja, koja zahtijeva kratku udaljenost GPS-ova rovera od bazne točke, što je postiglo centimetarsku točnost pozicioniranja panjeva, kao i točaka za računanje smjera rušenja stabala. Za mjerenje je korišten rover i bazni prijamnik Topcon »HiPer Pro«. Njihova međusobna udaljenost pri pozicioniranju nije prelazila 400 m od bazne stanice. Za određivanje prostornoga rasporeda dubelih stabala upotrijebljen je GNSS-ov prijamnik Trimble »GeoExplorer XT 6000«.

Podaci GPS-ove izmjere pokusnih površina obrađeni su u softveru Topcon Tools (v 8.2) i dopunjeni slojnicama s topografskih karata mjerila 1 : 25 000.

Kutovi rušenja stabala (α_0) i kutovi sakupljanja drva vitlom (α_s) određeni su mjerenjem na digitalnim kar-

**Slika 2.** Shematski prikaz kuta rušenja stabla i kuta sakupljanja drva vitlom**Fig. 2** Scheme of tree felling angle and angle of bunching by winch

tama pokusnih ploha u aplikaciji AutoCAD 3D Map 2010. Izmjereni su kutovi analizirani u tabličnom kalkulatoru Excel 2007 i prikazani kao histogrami frekvencija za smjer rušenja stabala i za kutove sakupljanja drva vitlom na pokusnim plohama. Za izradu kartografskih prikaza pokusa korištena je aplikacija ESRI ArcMap 9.3.

Na pokusnim plohama primijenjena je modificirana poludeblovna metoda listača s dijelovima krošnje, dok je na kontrolnim plohama primijenjena sortimentna metoda izradbe drva.

Stabla su posječena motornom pilom u organizaciji rada 1 MP + 1 R. Pri sječi stabala posebna je pozornost dana određivanju smjera rušenja stabala jer on značajno utječe na pojavu i veličinu oštećenja na dubećim stablima. Opći smjer rušenja stabala ovisio je o terenskim prilikama i o smjeru sakupljanja i privlačenja drva te je u ovom istraživanju opći smer rušenja bio prema traktorskim putovima, a individualni je bio u funkciji sigurnosti radnika te mogućnosti rušenja stabala u općem smjeru.

Kvalitativna podjela oborenih stabala bez grana tanjih od 3 cm promjera s korom obavljena je prema odredbama nacionalnih normi za razvrstavanje obloga drva po kakvoći (Anon. 1989). U šumi (kod panja) stabla su prvo prikrojena i prerezana na jednom ili više mjesta da bi se dobili dijelovi stabla manji od 3 cm promjera s korom približno optimalnoga obujma, s obzirom na sredstvo i način privlačenja drva, te da bi moguće štete na ostalim (nedoznačenim) stablima i na tlu bile što manje. Nakon privlačenja drva na pomoćnom stovarištu izrađeni su sortimenti određena razreda kakvoće. Mjesta trupljenja koja su obilježena pri prethodnom prikrajanju bila su i konačna mjesta preraza na pomoćnom stovarištu.

Sječa, rušenje i obrada stabala sastojala se od sljedećih radnih operacija: prijelaz od stabla do stabla, izbor smjera rušenja stabla, priprema radnoga mjesta, obrada žilišta, izrada zasjeka, potpiljivanje stabla, navođenje stabla u pad, odsjecanje grana tanjih od 3 cm promjera s korom te zarezivanje grana.

Pri sječi i izradbi drva korištene su dvije motorne pile. Motorna pila manje snage upotrijebljena je za zarezivanje grana tanjih od 3 cm promjera s korom te za zarezivanje grana, a motorna pila veće snage korištena je za trupljenje debla stabala. Na taj se način ostvaruje ušteda potrošnje goriva i maziva te je opterećenje radnika sjekača manje.

Zarezivanje je grana bit predložene metode izradbe drva iz krošnja listača s obzirom na to da se tako znatno utječe na pojavu i veličinu oštećivanja dubećih stabala u sastojini, a što je osnovni nedostatak deblovne,

odnosno stablovne metode izradbe drva. Dubina je zarezivanja grana vrlo važna i ovisi o više čimbenika: debljine grane, kuta insercije grane, duljine grane, mase komada i dr. Dubina zarezivanja iznosi od 1/2 do 2/3 promjera grane u području reza i s povećanjem promjera grane raste dubina zarezivanja (slika 3). Zarezivanje tanjih grana koje se račvaju od plašta debla stabla i grana koje se račvaju izvan područja debla stabla iznosi do 1/2 promjera u koljenu grane. Osim toga dubina zarezivanja ovisi i o kutu koji zatvara ravnina presjeka i uzdužna os stabla. Položaj reza u odnosu na os stabla utječe na otpor koji se javlja pri privlačenju dijelova koji su izrađeni iz krošnje stabla, kao i na kidanje grana tijekom sakupljanja, odnosno privlačenja drva. Veličina kuta insercije i debljina grane osnovni su elementi za određivanje položaja reza u odnosu na os grane. U specifičnim slučajevima zarezivanje treba obaviti s unutrašnje strane grane, i to s dva reza, odnosno isjecanjem klina.

Zarezivanjem se grana povećava elastičnost između grana i debla stabla te između grana. Učinak zarezivanja pri privlačenju smanjene krošnje ili dijelova krošnje očituje se tako da se dio drva, izrađen iz krošnje, sakuplja da bi zauzeo manji prostor tijekom sakupljanja i privlačenja drva. Osim toga na mjestima gdje dolazi do dodira između dubećih stabala i zarezanih grana dijelova krošnje trenje je manje pa se u najvećem broju slučajeva javljaju ogrebotine.

Uvjet koji je postavljen u prorednim sječama jest da u strukturi tovara koji se privlači ne bude više od jedne krošnje ili jednoga dijela krošnje u slučaju ako su stabla većih dimenzija.

Dijelovi stabla bez grana tanjih od 3 cm promjera s korom privučeni su skiderom LKT 81 s ugrađenim



Slika 3. Zarezane grane

Fig. 3 Notched branches



Slika 4. Sakupljanje dijelova stabla manjih od 3 cm promjera s korom vitlom skidera LKT 81

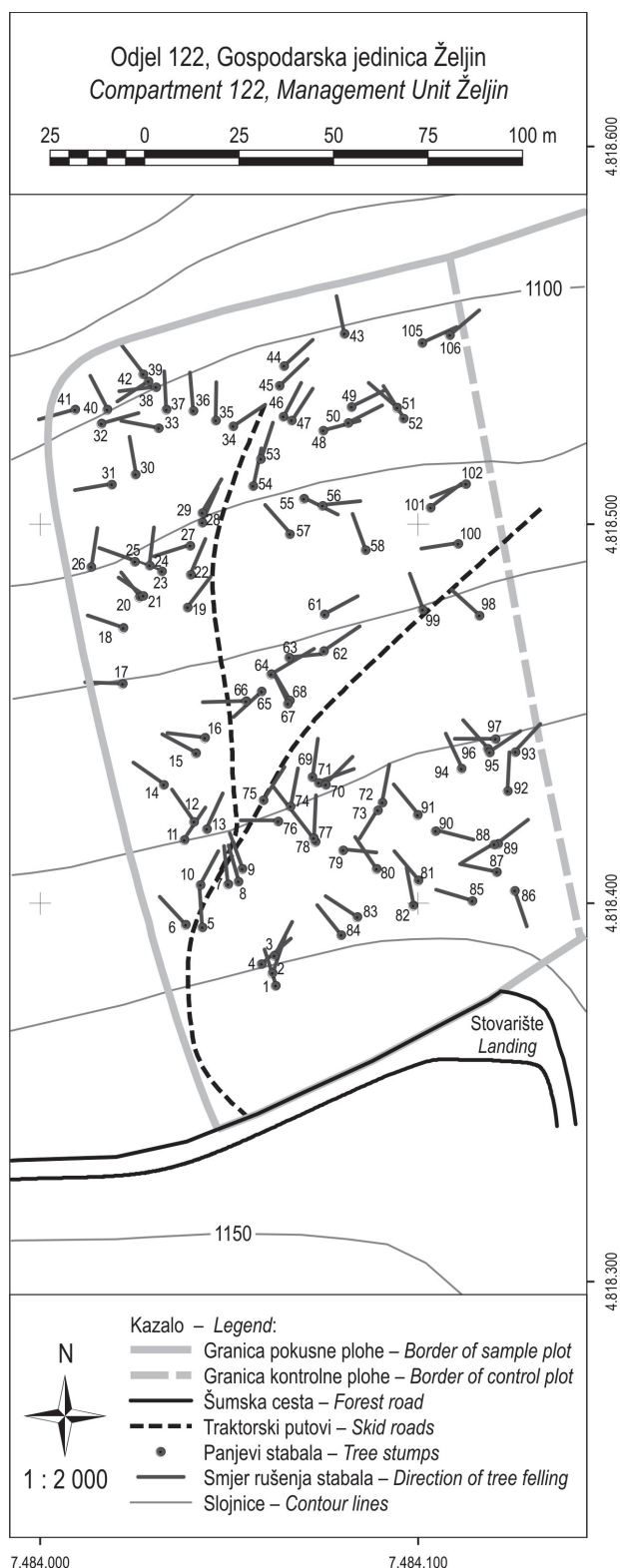
Fig. 4 Bunching tree parts up to 3 cm in diameter with bark by winch LKT 81 skidder

dvobubanjskim vitlom. Drvo je sakupljano vitlom do traktorskoga puta, a zatim vučom skiderom po traktorskom putu do pomoćnoga stovarišta (slika 4). Pomoćno stovarište nalazilo pored šumske ceste.

Na pomoćnom je stovarištu izrađena tehnička obločina i prostorno drvo, odnosno razdvojeni su trupci, prostorno drvo i šumski ostatak (granjevina od 3 do 7 cm promjera s korom, rašlje, gule, koljena grana, odresci sljepica, porupci, kratice).

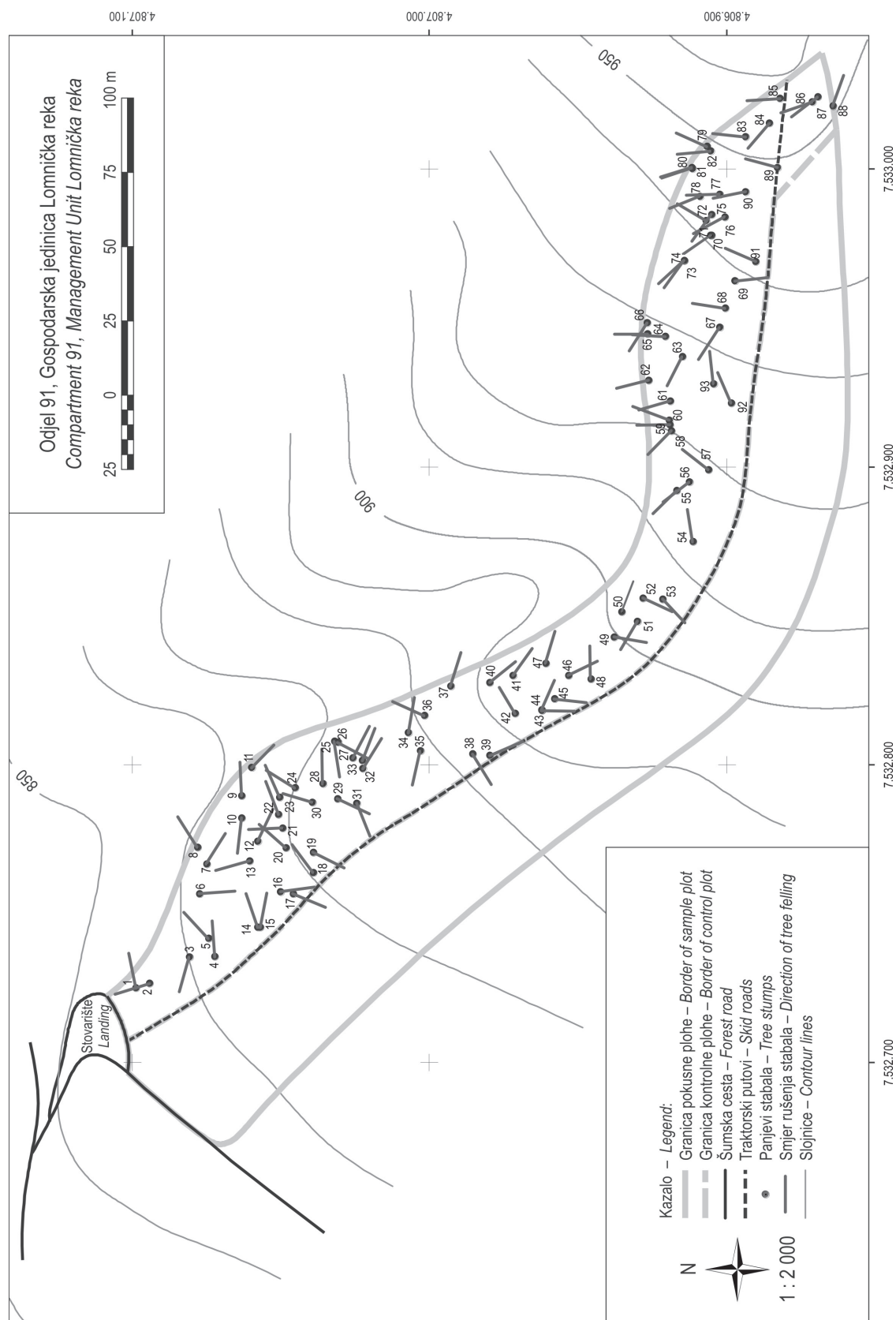
Na kontrolnim je ploham pored panja obavljena potpuna izradba tehničkoga obloga i klasičnoga jednometarskoga prostornoga drva u organizacijskom obliku 1 MP + 1 R. Nakon izradbe drvnih sortimenata u sječini je ostao šumski ostatak. Količina šumskoga ostatka koji je ostao u sječini nakon sječe stabala i izradbe drvnih sortimenata nije se razlikovala značajno od one količine koja ostaje u sličnim sječinama u kojima se primjenjuje sortimentna metoda izradbe drva. Tehnička je obločina privučena također skiderom LKT 81 kao na pokusnim ploham, a jednometarsko ogrjevano drvo tovarnim konjima (samaricom).

Broj stabala za analizu određen je po debljinskim stupnjevima. Na srušenim je stablima izmjerjen obujam drva manjega od 3 cm promjera s korom, točnošću na dvije decimale. Svaka je grana posebno mjerena, odnosno promjer i duljina mjereni su za svaki segment (sekciju). Broj sekcija ovisio je od oblika grane. Zatim je izračunat obujam sekcija i na kraju su podaci zbrojeni. Isti je postupak primjenjivan i za kraće komade, odnosno obavljen je velik broj mjerenja radi utvrđivanja što točnijega obujma. Za mjerenje je duljine korištena mjerna vrpca, a za mjerenje je promjera korištena promjerka.



Slika 5. Prostorni raspored panjeva i smjer srušenih stabala na pokusnoj plohi 1

Fig. 5 Spatial distribution of tree stumps and direction of fallen trees on sample plot 1



Slika 6. Prostorni raspored panjeva i smjer srušenih stabala na pokusnoj plohi 2

Fig. 6 Spatial distribution of tree stumps and direction of fallen trees on sample plot 2

Tablica 1. Osnovne sastojinske značajke pokusnih i kontrolnih ploha**Table 1** Basic stand characteristics of sample and control plots

Sastojinske značajke <i>Stand characteristics</i>	Pokusne i kontrolne plohe – <i>Sample and control plots</i>			
	Pokusna ploha 1 <i>Sample plot 1</i>	Kontrolna ploha 1 <i>Control plot 1</i>	Pokusna ploha 2 <i>Sample plot 2</i>	Kontrolna ploha 2 <i>Control plot 2</i>
Gospodarska jedinica i namjena šuma <i>Management unit and forest purpose</i>	GJ »Željina« proizvodno-zaštitna funkcija MU »Željina«, production-protective function		GJ »Lomnička reka«, proizvodno-zaštitna funkcija MU »Lomnička reka«, production-protective function	
Porijeklo sastojine – <i>Stand origin</i>	visoka čista bukova sastojina – <i>high pure beech stand</i>			
Nagib terena, % – <i>Terrain slope, %</i>	20 – 40			
Način sječe – <i>Method of harvesting</i>	selektivna proreda – <i>selective thinning</i>			
Tip zemljišta – <i>Type of soil</i>	smeđe šumsko tlo – <i>brown forest soil</i>			
Dob sastojine, godina – <i>Stand age, years</i>	80		70	
Drvena zaliha, m³/ha – <i>Growing stock, m³/ha</i>	280,22		355,07	
Površina, ha – <i>Area, ha</i>	2,22	1,68	1,38	1,39
Broj sabala po ha – <i>Number of trees per hectar</i>	226	227	427	432
Broj stabala na pokusnoj plohi – <i>Number of trees in sample plot</i>	502	382	590	600
Broj stabala na pokusnoj plohi nakon sječe <i>Number of trees in sample plot after harvesting</i>	396	305	497	513
Intenzitet prorede po broju stabala, % <i>Intensity of thinning by number of trees, %</i>	21,1	20,2	15,8	14,5
Broj analiziranih stabala – <i>Number of analyzed trees</i>	106	77	93	87

Tablica 2. Prosječne vrijednosti mjerenih parametara na pokusnim ploham**Table 2** Average values of measured parameters on sample plots

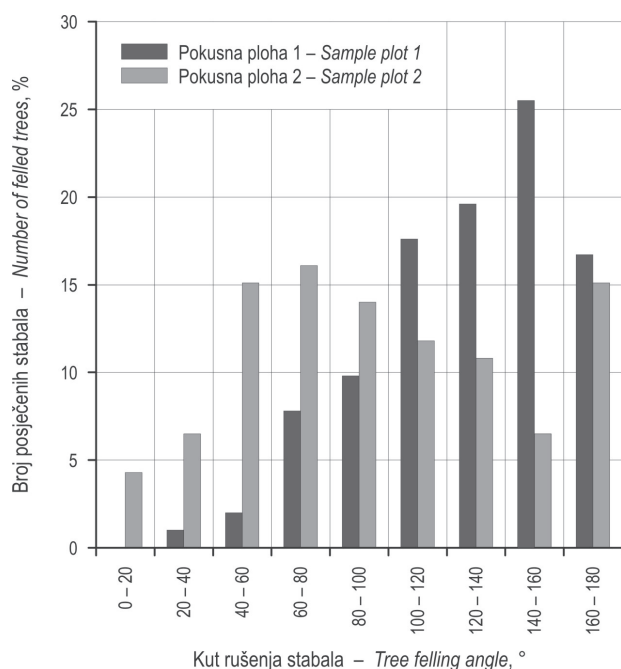
Mjereni parametri – <i>Measured parameters</i>	Pokusna ploha 1 <i>Sample plot 1</i>	Kontrolna ploha 1 <i>Control plot 1</i>	Pokusna ploha 2 <i>Sample plot 2</i>	Kontrolna ploha 2 <i>Control plot 2</i>
Sred. promjer analiziranoga stabla, cm <i>Average diameter of analyzed tree, cm</i>	35,4	37,5	35,5	31,5
Prosječna visina stabla, m – <i>Average tree height, m</i>	26,6		28,1	
Obujam tehničke oblovine, m ³ – <i>Volume of technical roundwood, m³</i>	99,71	81,34	70,00	38,82
Obujam prostornoga drva, m ³ – <i>Volume of stacked wood, m³</i>	–	35,54	–	44,21
Obujam prostornoga drva do 7 cm promjera s korom, m ³ <i>Volume of stacked wood up to 7 cm in diameter with bark, m³</i>	67,64	–	75,81	–
Obujam grana od 3 do 7 cm promjera na tanjem kraju s korom, m ³ <i>Volume of branches on thinner end 3 to 7 cm in diameter with bark, m³</i>	5,23	–	3,06	–
Obujam šumskoga ostatka bez grana od 3 do 7 cm promjera na tanjem kraju, m ³ <i>Volume of residues without branches 3 to 7 cm in diameter with bark, m³</i>	6,58	–	5,66	–
Ukupan obujam privučenoga drva na pomoćno stovarište, m ³ <i>Total volume of wood skidded to roadside landing, m³</i>	169,17	116,88	154,52	83,03

**Slika 7.** Pokusna ploha 1**Fig. 7** Sample plot 1**Slika 8.** Pokusna ploha 2**Fig. 8** Sample plot 2**Tablica 3.** Funkcije ovisnosti obujma određene kategorije izrađenoga drva o prsnom promjeru stabla**Table 3** Function of dependence of volume of specific wood categories on DBH

Kategorija izrađenoga drva <i>Category of processed wood</i>	Pokusna ploha 1 <i>Sample plot 1</i>	Pokusna ploha 2 <i>Sample plot 2</i>
	Funkcija ovisnosti – <i>Function of dependence</i>	Funkcija ovisnosti – <i>Function of dependence</i>
Tehnička oblovina <i>Technical roundwood</i>	$V = (-0,523 + 0,039 D)^2$ $R^2 = 0,891$, SE = 0,091	$V = (-0,272 + 0,032 D)^2$ $R^2 = 0,598$, SE = 0,211
Prostorno drvo i šumski ostatak > 7 cm s korom <i>Firewood and forest residues > 7 cm with bark</i>	$V = (0,266 + 0,0134 D)^2$ $R^2 = 0,533$, SE = 0,168	$V = (0,396 + 0,0141 D)^2$ $R^2 = 0,372$, SE = 0,187
Sitna granjevina > 3 cm promjera s korom <i>Small branchwood > 3 cm in diameter with bark</i>	$V = \exp(-1,724 + 47,17 / D)$ $R^2 = 0,575$, SE = 0,470	$V = (0,0097 + 0,0043 D)^2$ $R^2 = 0,340$, SE = 0,049

Tablica 4. Funkcije ovisnosti obujma izrađenoga drva i prsnoga promjera bukovih stabala**Table 4** Functions of dependence of the volume of processed wood on DBH

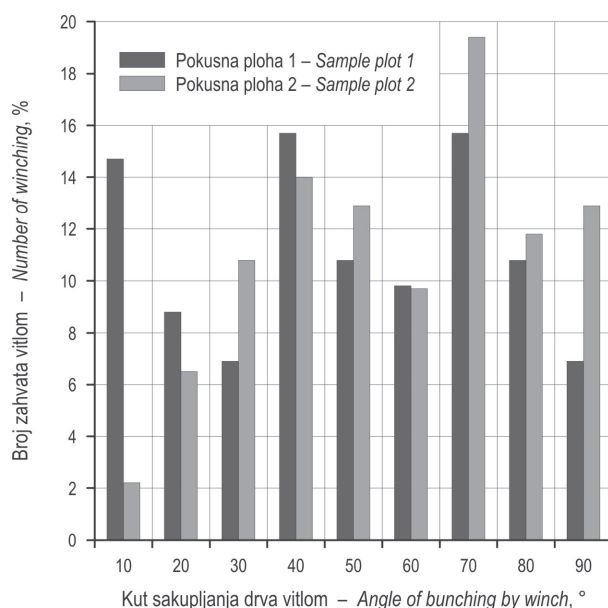
Plohe – <i>Plots</i>	Funkcija ovisnosti – <i>Function of dependence</i>	R^2	SE
Pokusna ploha 1 – <i>Sample plot 1</i>	$V = (-0,289 + 0,040 D)^2$	0,977	0,084
Kontrolna ploha 1 – <i>Control plot 1</i>	$V = (-0,294 + 0,037 D)^2$	0,888	0,189
Pokusna ploha 2 – <i>Sample plot 2</i>	$V = (-0,188 + 0,039 D)^2$	0,982	0,108
Kontrolna ploha 2 – <i>Control plot 2</i>	$V = (-0,253 + 0,038 D)^2$	0,862	0,111



Slika 9. Analiza kuta rušenja stabla u odnosu na liniju najvećega uspona terena

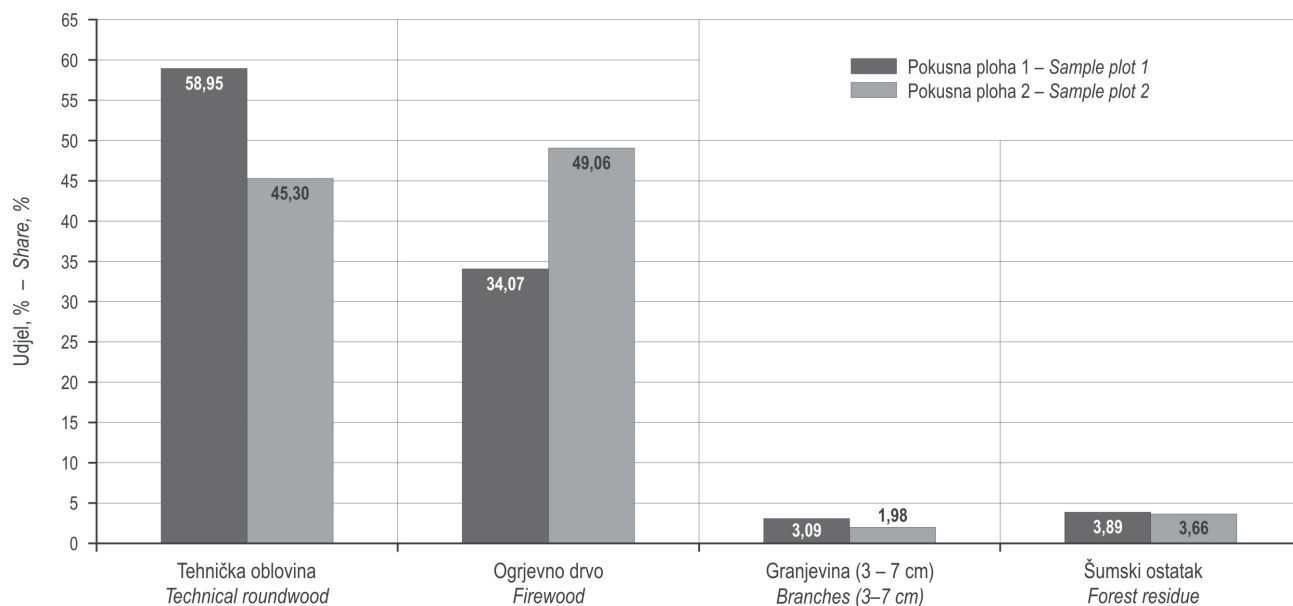
Fig. 9 Analysis of felling angle with respect to the steepest terrain slope

Oštećenja na dubećim stablima mjerena su neposredno nakon svakoga zahvata sakupljanja drva vitlom skidera te poslije vuče formiranoga tovara traktorskim putem. Na oštećenim dubećim stablima mjerena je



Slika 10. Analiza frekvencija kuta sakupljanja drva na traktorski put
Fig. 10 Frequency analysis of the angle of bunching by winch on skid road

površina oštećenja unakrsno milimetarskom točnošću. Mjerena je i visina na kojoj je nastalo oštećenje, s obzirom na to da je raspon visine u kojem se javljaju oštećenja veći u slučaju primjene modificirane poludeblovne metode izradbe drva u odnosu na raspon visine u kojem se pojavljuju oštećenja pri primjeni sor-



Slika 11. Udjel različitih kategorija drva u ukupnom obujmu izrađenoga drva

Fig. 11 Share of different wood categories in total volume of processed wood

Tablica 5. Usporedni pregled rezultata pojedinih parametara analiziranih metoda izradbe drva**Table 5** Comparison overview of results of individual parameters of analyzed wood processing methods

Parametri – Parameters	Pokusna ploha 1 Sample plot 1	Kontrolna ploha 1 Control plot 1	Pokusna ploha 2 Sample plot 2	Kontrolna ploha 2 Control plot 2
Prosječni broj komada po jednom stablu, kom. <i>Average number of pieces per tree, pcs.</i>	5,17	2,48	3,81	1,02
Prosječni broj komada po jednom zahvatu vitla, kom. <i>Average number of pieces per winching operation, pcs.</i>	2,4	2,29	1,7	1,64
Prosječni broj zahvata vitla po jednom stablu, kom. <i>Average number of winching operations per tree, pcs.</i>	2,13	1,07	2,31	0,61
Najveća duljina izrađenoga sortimenta, m <i>Maximum length of assortment, m</i>	12,0	6,0	14,0	9,4
Prosječna duljina izrađenoga sortimenta, m <i>Average length of processed assortment, m</i>	4,9	3,6	6,7	4,6
Minimalna dužina izrađenoga sortimenata, m <i>Minimum length of processed assortment, m</i>	2,2	2,0	2,8	2,0
Prosječni obujam zahvata vitla, m ³ <i>Average volume of winching operation, m³</i>	0,75	0,99	0,72	0,73
Prosječni broj oštećenja guljenja kore po jednom zahvatu vitlom <i>Average number of bark removal damage per winching operation</i>	1,47	1,87	1,03	1,14
Prosječna ploština jednoga oštećenja na preostalim stablima, cm ² <i>Average surface of a damage on remaining trees, cm²</i>	75,4	35,7	55,6	16,9
Prosječni broj oštećenja guljenja kore po oštećenom stablu <i>Average number of bark removal damage per damaged tree</i>	3,14	2,01	2,34	2,64
Prosječna ploština oštećenja na preostalim stablima, cm ² <i>Average surface of damage on remaining trees, cm²</i>	237	72	130	42
Broj oštećenih stabala na pokusnoj plošini, kom. <i>Number of damaged trees on sample plot, pcs.</i>	39	24	44	50

timentne metode. To je vrlo značajno s obzirom na to da veći rizik od truljenja imaju stabla s oštećenjima bliže razini tla (Vasiliauskas 2001). Svako oštećenje koje je nastalo u smjeru sakupljanja drva vitlom i vuče drva skiderom, nakon mjerenja obilježeno je sprejom kako ne bi bilo mjereno više puta. Nastala oštećenja izražena su brojem i površinom oštećenja po zahvatu sakupljanja drva vitlom, prosječnom površinom oštećenja na dubecim stablima i postotkom oštećenih stabala u odnosu na broj preostalih dubecih stabala u sastojini po završetku sječe.

Prostorni raspored panjeva i položaj srušenih stabala u odnosu na traktorski put i nagib terena prikazan je na slikama 5 (pokusna ploha 1) i 6 (pokusna ploha 2).

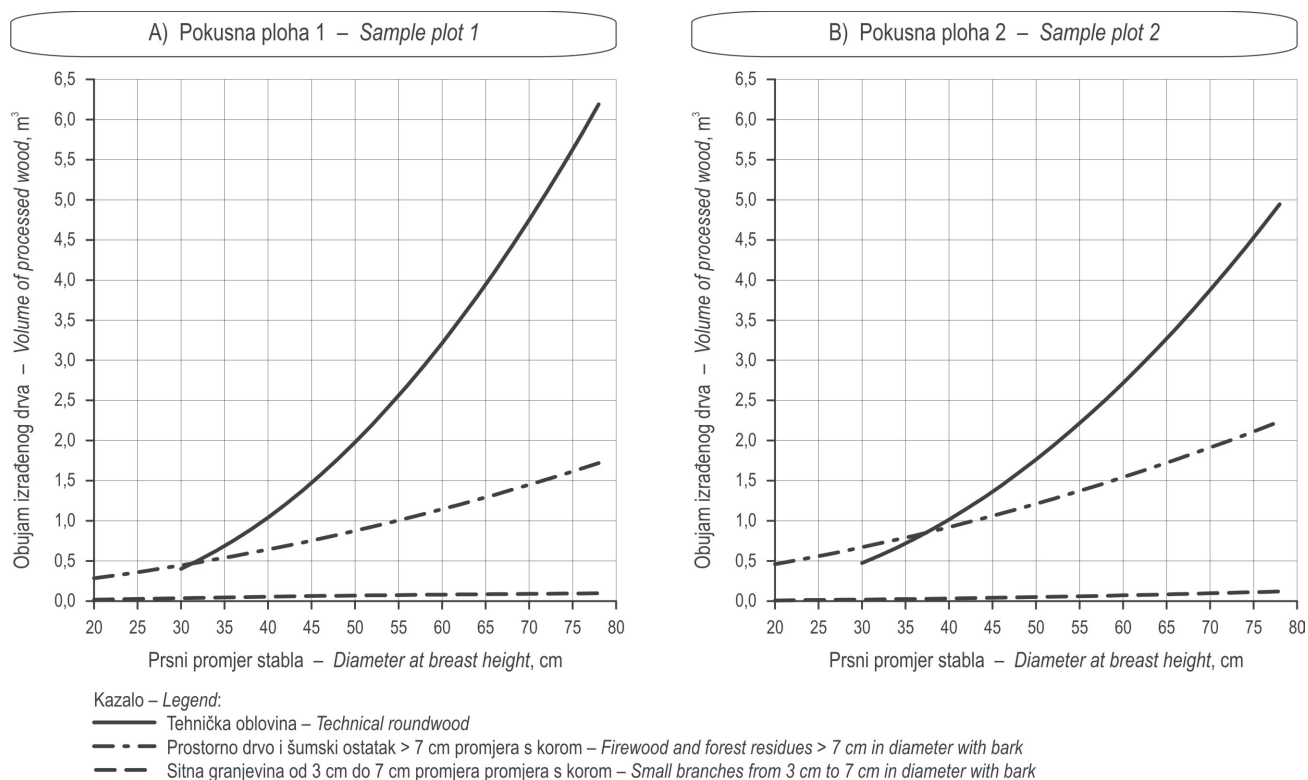
Pri obradi podataka primijenjene su standardne matematičke i statističke metode (deskriptivna statistika, korelacijska i regresijska analiza).

Pokusna ploha 1 (slika 7) nalazi se u odjelu 122 u gospodarskoj jedinici »Željin«, a pokusna ploha 2 (slika 8) nalazi se u odjelu 91 u gospodarskoj jedinici »Lomnička reka« kojima gospodari Šumsko gospodarstvo »Rasina« Kruševac. Osnovne su sastojinske značajke pokusnih ploha prikazane u tablici 1.

4. Rezultati istraživanja – Research results

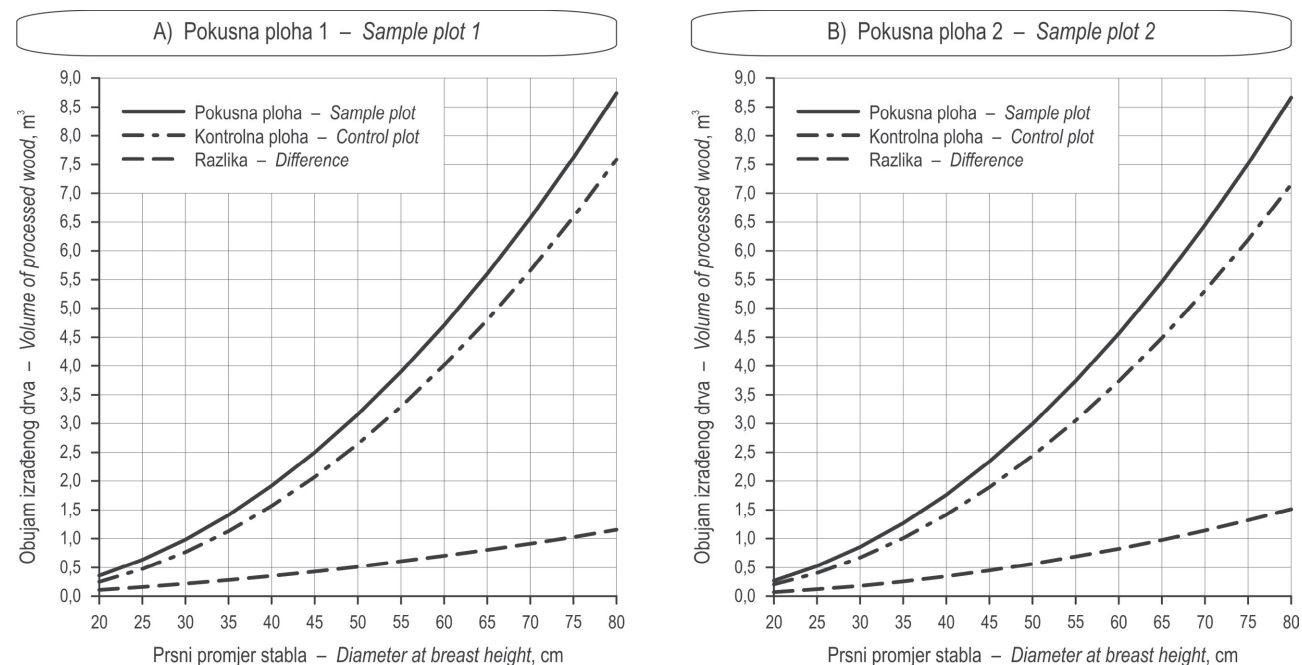
Ukupna količina drva, privučena s pokusnih i kontrolnih ploha na pomoćno stovarište, iznosi 523,6 m³. Prosječne vrijednosti mjerenih parametara na pokusnim i kontrolnim plohama prikazane su u tablici 2.

Intenzitet sječe po broju stabala nije se značajno razlikovao na pokusnim i kontrolnim plohama. Razlike su u tehnološkoj strukturi između kontrolne i pokusne plohe na istom lokalitetu male, dok su između pokusnih i kontrolnih ploha na različitim lokalitetima mnogo veće.



Slika 12. Ovisnost obujma pojedinih kategorija izrađenoga drva o prsnom promjeru stabla

Fig. 12 Dependence of different wood categories on DBH



Slika 13. Ovisnost obujma izrađenoga drva primjenom dviju metoda izradbe o prsnom promjeru stabla

Fig. 13 Dependence of the volume of wood processed by two different methods on DBH

Na pokusnoj plohi 1 kut rušenja najvećega broja stabala bio je u rasponu od 140° do 160°, dok je na pokusnoj plohi 2 kut rušenja najvećega broja stabala bio u rasponu od 60° do 80° (slika 9).

Kut sakupljanja drva (dijelova stabla većih od 3 cm promjera s korom) vitlom (α_s) na traktorski put u prikazanoj analizi jednak je kutu koji srušeno stablo zatvara s traktorskim putem (α_v) u točki sakupljanja drva vitlom skidera, čime se izbjegava rotiranje drva (Danilović i dr. 2011). Najčešći kutovi sakupljanja drva vitlom na traktorski put na pokusnoj plohi 1 su 40° i 70°, a na pokusnoj plohi 2 najčešći je kut od 70° (slika 10).

Rezultati analize pokazuju da je riječ o malom broju stabala koja su srušena paralelno sa slojnicama. Uglavnom se rušilo tako da je rotiranje i zakretanje izrađenih dijelova stabla bez grana tanjih od 3 cm promjera s korom bilo minimalno, odnosno kut rušenja stabla i kut sakupljanja vitlom izrađenih dijelova stabla na traktorski put nisu se značajno razlikovali. To pokazuje da je velika pažnja posvećena izboru smjera rušenja stabala.

Udjel pojedinih kategorija drva u ukupnoj količini izrađenoga drva na pokusnim ploham prikazan je na slici 11.

Na slici 12 prikazana je ovisnost obujma pojedinih kategorija izrađenoga drva o prsnom promjeru bukovih stabala, gdje porastom prsnoga promjera stabla

na različit način raste obujam pojedinih kategorija izrađenoga drva. Funkcije koje najbolje opisuju ovisnost zavisnih i nezavisnih varijabli prikazane su u tablici 3.

Na slici 13 prikazana je ovisnost ukupne količine izrađenoga drva na pokusnim i kontrolnim ploham o prsnom promjeru bukovih stabala. S povećanjem prsnoga promjera bukovih stabala raste razlika između količine izrađenoga drva primjenom dviju različitih metoda izradbe drva (slika 13). U ukupnoj količini drva privučenoga iz sječine na pomoćno stovarište, gdje je primijenjena modificirana poludeblovna metoda listača s dijelovima krošnje, nalazi se tehnička oblovina, prostorno drvo i šumski ostatak (sitna granjevina od 3 do 7 cm, isječci, porupci, koljena grana, odresci sljepica, rašlje, gule i kratice), a u ukupnoj količini drva na pomoćnom stovarištu, gdje se primjenjuje sortimentna metoda izradbe drva, nalazi se tehnička oblovina i prostorno (ogrjevno) jednometarsko drvo.

Obujam drva privučen na pomoćno stovarište s pokusne plohe 1 veći je za 8,5 % od obujma drva privučenoga s kontrolne plohe 1, a kod pokusne plohe 2 veći je za 8,17 % u odnosu na kontrolnu plohu 2. Obujam je iskazan kao ponderirana srednja vrijednost. Ta količina drva nije zanemariva i u budućnosti će svakako biti značajan izvor sirovine za dobivanje energije.

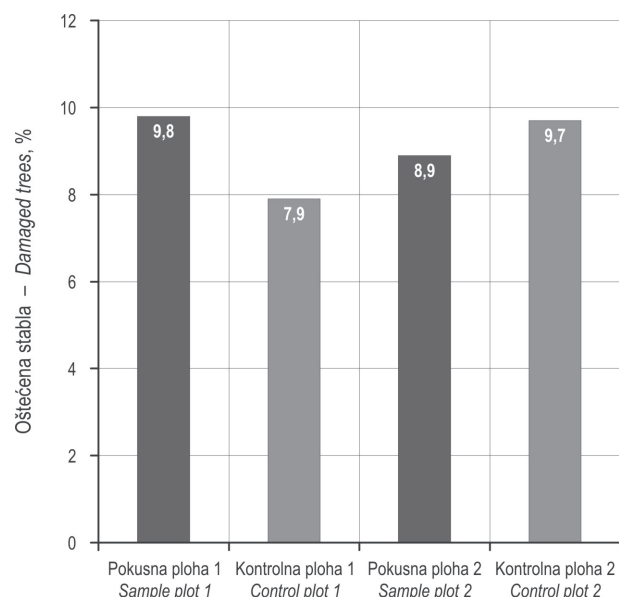
Oblikovanje je tovara skiderom obavljeno s jedne ili više točaka sakupljanja drva vitlom uzduž traktorskoga puta. Ono je s više stajališnih točaka bilo potrebno s obzirom na uvjet o privlačenju najviše jednoga dijela izrađenoga iz krošnje stabala većih dimenzija, kao i smanjivanja troškova formiranja optimalnoga tovara.

Pregled rezultata privlačenja dijelova stabala bez grana tanjih od 3 cm promjera s korom po pojedinim parametrima prikazan je u tablici 5.

Oštećenja na dubećim stablima razvrstana su na ogrebotine i oguljotine kore. Prema mjestu nastanka dijele se na oštećenja nastala na korijenu i oštećenja nastala na prizemnom dijelu stabla. Prema Mengu (1978) oštećenja na dubećim stablima na pokusnoj plohi 1 pripadaju IV. kategoriji, na pokusnoj plohi 2 i kontrolnoj plohi 1 ubrajaju se u III. kategoriju i na kontrolnoj plohi 2 II. kategoriji oštećenja.

Razlike su u intenzitetu sječe na pokusnim i kontrolnim ploham izražene brojem stabala minimalne, što je vrlo značajno za uspoređivanje pokusnih i kontrolnih ploha (slika 14).

Prosječan broj komada izrađenih iz jednoga stabla veći je na pokusnim u odnosu na kontrolne plohe s obzirom na to da je predmet privlačenja bilo cjelokupno drvo stabla do 3 cm promjera s korom, a što nije bio slučaj na kontrolnim ploham. Na pokusnoj plohi



Slika 14. Postotak oštećenih dubećih stabala na pokusnim i kontrolnim ploham nakon privlačenja

Fig. 14 Percentage of damaged standing trees on sample and control plots after skidding

1 broj je komada izrađenih iz stabla veći u odnosu na pokusnu plohu 2, uglavnom zbog većega udjela rašljivih stabala. Razlike na kontrolnim ploham potječu zbog različitoga udjela prostornoga drva. Na pokusnoj plohi 2 nije bilo racionalno oblikovanje tovara s više stajališnih točaka imajući na umu udaljenost sakupljanja drva vitlom i utrošak vremena premještanja skidera uzduž traktorskoga puta, zbog čega se javlja manji broj zahvata vitlom i manji prosječan obujam tovara. Prosječna duljina izrađenih dijelova stabla bez grana tanjih od 3 cm promjera s korom veća je za oko 30 % od prosječne duljine drvnih sortimenata izrađenih na kontrolnim ploham. Na prosječno povećanje duljine najviše je utjecala duljina dijelova izrađenih iz krošnji stabala.

Prosječna je površina oštećenja na dubećim stablima najveća na pokusnoj plohi 1 te je za oko 50 % veća u odnosu na kontrolnu plohu. Od ukupnoga broja oštećenja nastalih u obliku guljenja kore na deblu se nalazi 70,2 %, a na korijenu 29,8 %, dok se na kontrolnoj plohi oko 65 % oštećenja odnosi na guljenje kore korijena. Na pokusnoj plohi 2 prosječna je površina oštećenja manja, što se i očekivalo s obzirom na to da je riječ o mlađoj sastojini i manjem udjelu rašljivih stabala. Osim navedenoga na pokusnoj plohi 2 broj oštećenih stabala nije mnogo veći, iako je za oko 90 % veći broj stabala po hektaru. Prosječna površina ozljede na dubećim stablima nije velika, međutim na oštećenim stablima javljale su se u prosjeku od dvije do tri ozljede. Prosječna površina ozljeda na pokusnim ploham pripada III. kategoriji oštećenja prema Mengu, a na kontrolnim ploham II. kategoriji oštećenja.

5. Rasprava – Discussion

Rezultati provedenoga istraživanja pokazuju da u bukovim šumama koje rastu u brdsko-planinskom području Republike Srbije, u kojima se obavljaju prorede primjenom sortimentne metode izradbe drva, ostaje neiskorišteno oko 8 % drvne biomase nadzemnoga dijela bukovih stabala bez sitne granjevine tanje od 3 cm promjera s korom i nadzemnoga dijela panja. Posrijedi je drvo koje je i po količini i po kakvoći značajna sirovina za proizvodnju energije.

Pitanje koje se stalno postavlja u stručnoj javnosti Srbije, ali i šire, jest kako tehnološki riješiti upotrebu šumskoga ostatka bez ekoloških i ekonomskih štetnih posljedica.

U prebornim sastojinama i proredama iskorištavanje je šumskoga ostatka mnogo složenije u odnosu na oplodne sječe (pripremni, naplodni i dovršni sijek) zbog velikoga broja stabala po jedinici površine i zbog pomladnih jezgara u prebornim sastojinama (grupimično

preborno gospodarenje). Osim navedenoga riječ je o sitnijim izrađevinama (sitna granjevina od 3 do 7 cm s korom, kraći komadi debljih grana, rašlje i dr.) na koje nepovoljno utječe zakonitost obujma komada (Speidel 1952).

Imajući na umu značenje biomase kao energetske sirovine i okolnosti vezane uz upotrebu šumskoga ostatka, istražena je učinkovitost primjene modificirane poludeblovne metode listača s dijelovima krošnje kao alternative do sada primjenjivanim metodama izradbe drva u pridobivanju drva u brdsko-planinskim uvjetima u Srbiji te su dobiveni rezultati na osnovi kojih su izvedeni zaključci značajni za šumarsku struku.

Prednosti nove metode izradbe drva ogledaju se u povećanoj količini privučenoga drva na pomoćno stovarište po završetku pridobivanja drva. Količina sitne granjevine od 3 do 7 cm promjera s korom kreće se oko 3 % na pokusnoj plohi 1 i oko 2 % na pokusnoj plohi 2, što ne odstupa značajno od količine koju navode drugi autori (Pašičko i dr. 2009). Ti autori daju podatak da sitno energijsko drvo (promjera od 3 do 7 cm) iznosi oko 4 % od bruto posječenoga drva. Količina šumskoga ostatka u obujmu krupnoga drva iznosi oko 4 %, što također ne odstupa značajnije u odnosu na istraživanja drugih autora za običnu buku.

Prema Nikoliću i Bajiću (1992) obujam drva isječaka, brada, obradaka, koljena grana, gula i kratica iznosi 2,79 % obujma krupnoga drva, odnosno oko 5,06 % ako se uračuna i obujam nadzemnoga dijela panja. Ta količina drva uglavnom ostaje u sastojini neiskorištena.

Rezultati ovih istraživanja pokazuju da obujam sitne granjevine od 3 do 7 cm promjera s korom iznosi u obujmu drva srušenoga stabla do 3 %.

Značajna je ocjena primjenjivosti nove metode izradbe drva s obzirom na pojave ozljeda (oštećenja) na dubećim stablima u sastojini. Prema svim dosadašnjim istraživanjima sortimentna je metoda mnogo povoljnija ako se uzmu u obzir pojave oštećenja u sastojini od stablovne i deblovne metode izradbe drva (Doležal 1984, Kellogg i Betinger 1994, Syunev i dr. 2009).

Intenzitet je sječe po broju stabala na pokusnim i kontrolnim ploham bio približno isti, što je omogućilo da se usporede oštećenja nastala na pokusnim i kontrolnim ploham. Broj oštećenja izražen po zahvatu sakupljanja drva vitlom bio je veći na pokusnoj plohi 2, što je i očekivano s obzirom na veći broj stabala po jedinici površine, dok je prosječna površina oštećenja (guljenje kore) na pokusnoj plohi 2 manja za oko 45 % od površine oštećenja na pokusnoj plohi 1. Jedan od razloga jest i veća granatost stabala na pokusnoj plohi 1. Prosječna površina oštećenja dobivena u ovim istraživanjima ne odstupa značajnije od rezultata do

kojih su došli drugi autori. Na osnovi dosadašnjih istraživanja izlazi da ima najviše oštećenja iznad 200 cm² kada se primjenjuje sortimentna metoda izradbe drva (Solgi i Najafi 2007, Ficklin i dr. 1997, Tsorias i Liamas 2010, Nikooy i dr. 2010).

Broj oštećenih stabala u sastojini u odnosu na broj dubećih stabala na pokusnim i kontrolnim ploham iznosi od 7,9 do 9,8 %. U bukovoj sastojini starosti 80 godina postotak je oštećenih stabala na pokusnoj plohi veći za 25,4 % od postotka oštećenih stabala na kontrolnoj plohi. U bukovoj sastojini starosti 70 godina postotak je oštećenih stabala na pokusnoj plohi manji za 10,1 % u odnosu na postotak oštećenih stabala na kontrolnoj plohi. Do sličnih su rezultata došli Tavan- kar i Bodaghi (2011) u sastojini obične bukve, graba i johe, gde je obavljena selektivna sječa motornom pilom, a privlačenje skiderom Timberjack 450C. Oni iznose da je 12 % dubećih stabala oštećeno i 1,2 % uništeno, od čega je 68 % oštećenja stabala nastalo pri privlačenju drva. Prosječna površina oštećenja koja se javila na dubećim stablima nakon privlačenja izrađenih dijelova veća je na pokusnim površinama, što se može protumačiti kao nedostatak, međutim kada se uspoređi s rezultatima drugih autora, nisu velika opasnost za sastojinu promatrano s ekološkoga aspekta. Za primjenu ove metode izradbe drva vrlo je bitna ekonomska analiza koja će biti osnova za konačnu ocjenu istraživane metode izradbe drva. Prema dosadašnjim rezultatima, koji će biti objavljeni u idućem razdoblju, izlazi da se primjenom ove metode ostvaruje značajna financijska ušteda u odnosu na sortimentnu metodu izradbe drva.

Za primjenu poludeblovne metode listača s dijelovima krošnje potrebno je osigurati odgovarajuću veličinu pomoćnoga stovarišta, što je često problem kada su u pitanju brdsko-planinska područja. Uz to treba posebno istaknuti da se primjenom modificirane poludeblovne metode rješava i problem iznošenja prostornoga drva iz šume. Buduća će istraživanja dati odgovore na niz nepoznanica koje se danas postavljaju kada je u pitanju modificirana poludeblovna metoda listača s dijelovima krošnje.

6. Zaključci – Conclusions

Na osnovi rezultata provedenoga istraživanja zaključeno je:

- ⇒ Količina drva privučena na pomoćno stovarište s pokusnih ploha veća je za oko 8 % od količine drva koje je privučeno s kontrolnih ploha.
- ⇒ Broj oštećenih dubećih stabala u sastojini na pokusnim i kontrolnim ploham iznosi od 7,9 % do 9,7 %. U sastojini starosti 80 godina postotak

je oštećenih stabala na pokusnoj plohi veći za 25,4 % od postotka oštećenih stabala na kontrolnoj plohi, a u bukovoj sastojini starosti 70 godina postotak je oštećenih stabala na pokusnoj plohi manji za 10,1 % u odnosu na postotak oštećenih stabala na kontrolnoj površini.

- ⇒ Kada se primjenjuje modificirana poludeblovna metoda listača s dijelovima krošnje, nema potrebe za angažiranjem tovarnih konja (samarice) jer se skiderom privlači drveni obujam stabala većih od 3 cm promjera s korom.
- ⇒ Za primjenu modificirane poludeblovne metode listača s dijelovima krošnje potrebna je dobra organizacija rada, dobro položena sekundarna mreža šumskih prometnica, ali i odgovarajuća veličina pomoćnih stovarišta.

7. Literatura – References

- Armstrong, S., 2000: RIL for real: introducing reduced impact logging techniques in to a commercial forestry operation in Guyana. *International forestry review* 2(1): 17–23.
- Anon., 1989: Zbirka Jugoslovenskih standarda za drvo. Novinsko-izdavačka ustanova Službeni list SFRJ, Beograd, 1–682.
- Backe, J., 1998: Gallringsundersökning 1997. Skogsstyrelsen, meddelande 8, 26 str.
- Banković S., M. Medarević, D. Pantić, N. Petrović, B. Šljukić, S. Obradović, 2009: The growing stock of the Republic of Serbia – state and problems (Šumski fond Republike Srbije – stanje i problemi). *Bulletin of the Faculty of Forestry* 100: 7–30.
- Bertault, J., P. Sist., 1997: An experimental comparison of different harvesting intensities with reduced impact and conventional logging in east Kalimantan, Indonesia. *Forest ecology and management* 94: 209–218.
- Bobik, M., 2008: Damages to residual stand in commercial thinnings. Swedish University of Agricultural Sciences Master Thesis no. 127. Southern Swedish Forest Research Centre, 32 str.
- Danilović M., D. Grujović, V. Čorbić, B. Letica, 2011: Techniques and Technologies of Forest Residue Utilization in Hilly and Mountainous Coonditions. 19th European Biomass Conference and Exhibition, June 6–10, 2011, Berlin, Germany, Proceeding, 379–386.
- Doležal, B., 1984: Štete u šumi izazvane primenom mehanizacije. Dokumentacija za tehniku i tehnologiju u šumarstvu. Jugoslovenski poljoprivredni šumarski centar 81: 1–47.
- Ficklin, R. L., J. P. Dwyer, B. E. Cutter, T. Draper, 1997: Residual tree damage during selection cuts using two skidding systems in the Missouri Ozarks. *Proceedings of the 11th Central Hardwood forest conference*, MO, 36–46.

- Han, H. S., L. D. Kellogg, 2000: Damage Characteristics in Young Douglas-fir Stand from Commercial Thinning with Four Timber Harvesting Systems. *Western journal of Applied Forestry* 15(1): 1–7.
- Košir, B. 2008: Damage to young forest due to harvesting in shelterwood systems. *Croatian Journal of Forest Engineering* 29(1): 141–153.
- Lageson, H., 1997. Effects of thinning type on the harvester productivity and on the residual stand. *J. For. Eng.* 8(2): 7–14.
- Laitila, J., K. Väättäin, 2012: Truck Transportation and Chipping Productivity of Whole Trees and Delimbed Energy Wood in Finland. *Croatian Journal of Forest Engineering* 33(2): 199–210.
- Meng, W., 1978: Baumverletzungen durch Transportvorgänge bei der Holzernte – Ausmaß und Verteilung, Folgeschäden am Holz und Versuch ihrer Bewertung. *Schriftenreihe der LFV Baden-Württemberg*, knj. 53, 159 str.
- Nikolić, S., V. Bajić, 1992: Istraživanje količine šumskog otpatka kao aktora ekonomske i tehnološke opravdanosti njegovog korišćenja (Investigation the quantity of forest residue as a factor of economical and technological justification of its utilization). *Šumarstvo* 5–6: 9–15.
- Nikooy, M., 2007: Production optimization and reduction impact on forest by preparing harvest planning in Nav, Iran. Doctoral thesis, Tehran University, 165 str.
- Nikooy, M., R. Rashidi, G. Kochehi, 2010: Residual trees injury assessment after selective cutting in broadleaf forest in Shafaroud. *Caspian J. Env. Sci.* 8(2): 173–179.
- Pašičko, R., D. Kajba, J. Domac, 2009: Konkurentnost šumske biomase u Hrvatskoj u uvjetima tržišta CO₂ emisija. *Šumarski list* 133(7–8): 425–438.
- Petreš, S., 2006: Oštećivanje ponika i pomlatka pri privitlavanju i privlačenju oblovine traktorom LKT 81 T iz dovršne sječine hrasta lužnjaka. *Šumarski list* 130(3–4): 87–100.
- Picchio, R., F. Neri, M. Maesano, S. Savelli, A. Sirna, S. Blasi, S. Baldini, E. Marchi, 2011: Growth effects of thinning damage in a Corsican pine (*Pinus laricio* Poir.) stand in central Italy. *Forest Ecology and Management* 262: 237–243.
- Pinard, M. A., F. E. Putz, J. Tay, T. E. Sullivan, 1955: Creating timber harvesting guidelines for a reduced impact logging project in Malaysia. *Journal of Forestry* 39(10): 41–45.
- Poršinsky, T., M. Ožura, 2006: Damage to standing trees in timber forwarding. *Nova mehanizacija šumarstva* 27: 41–49.
- Sist, P., T. Nolan, J.-G. Bertault, D. Dykstra, 1998: Harvesting Intensity versus Sustainability in Indonesia. *Journal of Forest Ecology and Management* 108: 251–260.
- Speidel, G., 1952: Das Stückmassegesetz und seine Bedeutung für den internationalen Leistungsvergleich bei der Forstarbeit. Dissertation. Universität Hamburg, 1–66.
- Spinelli R., C. Lombardini, N. Magagnotti, 2014: The effect of mechanization level and harvesting system on the thinning cost of Mediterranean softwood plantations. *Silva Fennica* 48(1), 15 str.
- Stampfer, K., T. Steinmüller, R. Svaton, 2001: Grenzen der Steigfähigkeit, *Österreichische Forstzeitung (Arbeit im Wald)*, 112: 1–3.
- Syunev, V., A. Sokolov, A. Konovalov, V. Katarov, A. Seliverstov, Y. Gerasimov, S. Karvinen, E. Väliky, 2009: Comparison of ood harvesting methods in the Republic of Karelia. Finnish Forest Research Institute, Jonesu, 117 str.
- Tavankar, F., A. I. Bodaghi, 2011: Logging damages on residual trees during ground based skidding system in the Caspian forests of Iran. 2nd International Conference on Environmental Science and Technology IPCBEE vol. 6, IACSIT Press, Singapore.
- Tsioras, P. A., D. K. Liasas, 2010: Huling damages in a mixed beech oak stand. U: FORMEC 2010, Forest Engineering: Meeting the Needs of the Society and the Environment, 1–8.
- Vasiliasukas, R., 2001: Damage to trees true to forestry operations and its pathological significance in temperate forests: a literature review. *Forestry* 74(4): 320–336.
- Yilmaz, M., A. Akay, 2008: Stand Damage of a Selection Cutting System in an Uneven Aged Mixed Forest of Cimendagi in Kahramanmarz-Turkey. *International Journal of Natural and Engineering Sciences* 2(1): 77–82.
- *Posebna osnova gazdovanja šumama za GJ »Lomnička reka« (2006–2015).
- *Posebna osnova gazdovanja šumama za GJ »Željin« (2011–2020)

Abstract

Evaluation of Modified Half-Tree Length Method of Broadleaves with Crown Parts

This paper presents the research results of the efficiency of timber (broadleaves) extraction by skidder, using a modified half-tree length method with crown parts in thinning beech stands in the Republic of Serbia. The effectiveness of this method is assessed by quantitative and qualitative indicators. The modified method has been developed with the

goal of using forest residues (unprocessed wood) in hilly and mountainous areas of the Republic of Serbia. This modified half-tree length method of broadleaves with crown parts resulted in an increase of 8% of the volume of timber extracted to the road landing when compared to the assortment method. Stand damages caused to the remaining standing trees after felling were not much higher than damages caused by using the assortment (CTL) method. With this proposed modified method, the extraction of one-meter fire-wood can be carried out without using horses (derrick method).

Keywords: method of wood processing, hilly-mountainous conditions, beech, forest residues, tree damage.

Adrese autorâ – Authors' addresses:

Izv. prof. dr. sc. Milorad Danilović*
e-pošta: milorad.danilovic@sfb.bg.ac.rs
Mr. sc. Dragomir Grujović
e-pošta: dragomir.grujovic@sfb.bg.ac.rs
Mr. sc. Slavica Karić
e-pošta: slavica.karic@sfb.bg.ac.rs
Univerzitet u Beogradu
Šumarski fakultet
Kneza Višeslava 1
11030 Beograd
SRBIJA

Boban Milovanović, dipl. inž.
e-mail: bobanmilovanovic71@yahoo.com
JP »Srbija šume« Beograd
11000 Beograd
SRBIJA

*Glavni autor – Corresponding author

Primljeno (Received): 20. 1. 2014.

Prihvaćeno (Accepted): 18. 3. 2014.

Comparison of Two Skidding Methods in Beech Forests in Mountainous Conditions

Dane Marčeta, Vladimir Petković, Boštjan Košir

Abstract – Nacrtak

Investigation of different skidding methods was done in the northwestern part of the Republic of Srpska, in the area of municipality of Ribnik. Two skidding methods were compared, assortment (short-log) method and half-tree length method. Investigation was conducted in four sample plots, in two compartments of beech forests. The difference between sample plots was based on working methods and mean DBH of felled trees. The aim of this research was to compare the productivity and costs of assortment method, which is currently dominant in the forestry of the Republic of Srpska, and half-tree method as a modification of tree length method. Skidding was done with forest skidder LKT 81T in winter conditions with almost no snow. Time and work study was performed. Different statistical methods were used for investigating the influence of different variables on the work process. Multiple linear regression analysis showed that work operations mainly depend on distance and load volume in both methods. Loaded drive depends on distance and load volume. Strength of correlation relationship is similar in both methods. These findings are in compliance with other investigations that can be found in literature. The results showed higher productivity and lower costs in half-tree-length method than in the assortment method. For the skidding distance of 250 m and similar stand conditions, the productivity is 42.29 m³/day for assortment method (A1) and 50.50 m³/day for half-tree length (A2) method, and 62.93 m³/day (B1) and 83.64 m³/day (B2), respectively. Costs are 17% (A2 against A1) and 40% (B2 against B1) lower for half-tree length method when all other conditions are the same. The difference in cost increases with the increase of the difference of the average piece volume of the two skidding methods.

Keywords: tractor skidding, harvesting methods, work study, cost calculation, B&H

1. Introduction – Uvod

The limiting factors in forest operations in mountainous stands of B&H are terrain slope, micro-relief with obstacles, bearing strength of deep soils during periods of increased moisture, snow and ice conditions in winter and selection management. Forests are mainly natural, mixed and uneven-aged, and managed by individual and group selection felling, with a 10-year rotation. European silver fir, Norway spruce, European beech and sessile oak are the most important commercial species. Strip roads and skid trails represent the basic network of secondary forest openness, which provides the quickest and shortest way to felled and processed trees and are constructed on forest terrain with the slope gradient ranging between 30

and 60% with the terrain rockiness reaching up to 90% due to karst conditions (Sabo and Poršinsky 2005).

The current harvesting technology in the forestry of B&H consists of felling and processing trees at the stump using chainsaw and skidder for roundwood extraction. In specific conditions, animals and cable yarders are used to a lesser extent. Stacked wood (traditional firewood) is extracted by animals in traditional way. Harvesting technology and method is still a question of research and discussion. The aim of this research is to compare the productivity of skidding in two harvesting methods: 1) tree felling and processing at the stump, and extracting the assortments to the landing and 2) tree felling, partial processing at the stump and skidding to the landing. The first harvesting method is understood as a short-wood (assort-

ment) method and the second as a half-tree-length method – a modification of tree-length method. The aim of the research was to identify advantages and disadvantages of introducing a half-tree-length method and the need for possible modification of the present assortment method.

2. Literature review – *Pregled literature*

Researchers have already suggested that it would be better to organize skidding of firewood together with roundwood, as this would cause lower transport costs (Košir et al. 2009). In the area of B&H, several studies have been conducted on introducing tree-length and half-tree-length harvesting method (Kulušić et al. 1980, Kulušić 1981, Ljubojević 1990). The results of these investigations led to the conclusion that tree-length and half-tree length methods are recommended along with a better organization of production process. Also, it has been proved that the tree-length method demands heavier machines and causes higher damages to the stand, the standing trees, juvenile plants and soil. This is probably a reason why the tree-length method has not been widely accepted in local forestry practice. There are also other reasons for not accepting tree-length skidding, such as hard terrain conditions and selective forest management based on cutting single trees. As an optimal solution, the half-tree-length harvesting method is recommended. The half-tree-length method differs from tree-length method in the way that the stem is cut in one or more pieces in order to shorten the stem and facilitate the skidding. Bucking at the stump is made according to »transport lengths« taking into account quality changes along the tree and the final use (roundwood, firewood).

Mousavi (2009) compared the effects, economical efficiency and stand damages in using the tree-length and short wood harvesting method. It was concluded that higher efficiency was achieved at lower costs when applying the tree-length method, provided that forestry planners and workers are extremely well trained to keep the efficiency without causing unacceptable stand damage. Zečić and Marenče (2005) examined the characteristics of work and efficiency of team work. They established standard times for two tractors, which ranges between 25.05 min/m³ for the skidding distance of 150 m and 33.20 min/m³ for the distance of 650 m. The coefficients of allowance time for the tractors used in the study were between 1.24 and 1.29.

Most of the studies on skidding operations indicate that skidding distance, piece size, load volume, winching distance and slope of the skid trail have a significant impact on the production of tractor skidding

(Ghaffariyan et al. 2013, Sabo and Poršinsky 2005, Zečić et al. 2005). Skidding time per cycle is a regression function of skidding distance, winching distance, trail slope and piece volume. The average net and gross productions were 18.51 and 14.51 m³/h, respectively (Ghaffariyan et al. 2013). They found that the productivity of processing, skidding and hauling increased when using the long timber method. Total unit cost of the long timber method in processing, skidding, loading and hauling is lower than the unit cost of the short-wood method (Mousavi 2009).

Ghaffariyan et al. (2012) showed that increasing the average load volume would result in lower cost of extraction. They emphasized that it is necessary to use the harvesting equipment with maximum working capacity. Also, they suggested that increasing the load volume may increase machine repair costs, an aspect that requires further investigation.

Bembenek et al. (2011) showed that, during extraction with tractors, the mean overall operational productivity was 30.5 m³/h, with an average of 1.8 m³ of wood obtained from the trees. The obtained productivity seems to be very good when compared with e.g. 11.6 m³/h achieved by Timberjack 240C in a mountainous fir stand when skidding roundwood from the felling site, where the volume per mean marked tree was 3.9 m³ (Sabo and Poršinsky 2005). Using a cable skidder LKT 81 Turbo, the productivity can reach 7.15 m³/h in mountain conditions in an 82 year old fir stand (Porter and Strawa 2006).

According to the calculation based on 1 600 operating hours per year, the machine rate of Timberjack 240C was 26.89 €/PMH. At skidding distance of 250 m, the productivity under the above work conditions is 12.0 m³/PMH (5.0 min/m³) with the skidding costs of 2.2 €/m³. Productivity depends on skidding distance and it ranges between 16.9 m³/h (50m) and 9.9 m³/h (400m). Skidding costs range from 1.6 to 2.7 €/m³ (Sabo and Poršinsky 2005).

Holmes et al. (2002) studied the productivity of a rubber-tyre skidder in conventional felling. They showed that the productivity of the skidder was 22.39 m³/h and the unit cost was 1.99 \$/m³ in Amazon forests in Brazil.

Behjou et al. (2008) investigated skidding capacity of the wheeled skidder Timberjack 450C in Caspian forests. The skidding cycle time and the loaded travel time, as well as cable winching productivity were primarily affected by skidding distances and winching distances. The interaction between skidding distance and the ground slope was another major factor that influenced elemental times and productivity. The empty travel time was dominantly affected by skid-

Table 1 Description of research site**Tablica 1.** Opis objekta istraživanja

Stand description <i>Opis sastojina</i>	Sample plots A1 and A2 <i>Pokusne plohe A1 i A2</i>	Sample plots B1 and B2 <i>Pokusne plohe B1 i B2</i>
Compartment <i>Odjel</i>	98; section a – M.U. Potoci-Resanovača <i>98; odsjek a – G.J. Potoci-Resanovača</i>	65; section a – M.U. Šiša-Palež <i>65; odsjek a – G.J. Šiša-Palež</i>
Altitude, m <i>Nadmorska visina, m</i>	970–1 150	690–1 230
Inclination, ° <i>Nagib, °</i>	15–30	15–30
Exposition <i>Ekspozicija</i>	S–SE	W–NW
Geologic surface <i>Geološka podloga</i>	Limestone, medium or deep rocky land <i>Vapnenac, srednje duboko ili kamenito tlo</i>	Limestone and dolomite, medium or deep rocky land <i>Vapnenac i dolomit, srednje duboko ili kamenito tlo</i>
Climate <i>Klima</i>	Mountain, humid <i>Planinska, humidna</i>	Mountain, humid <i>Planinska, humidna</i>
Stand <i>Sastojina</i>	GK 1210 – Forests of beech and fir with spruce on a series of limestone, predominantly deep soil <i>(Picea-Abieti-Fagetum)</i> GK 1210 – Bukovo-jelove šume sa smrekom na seriji vapnenačkih, pretežno dubokih tala <i>(Picea-Abieti-Fagetum)</i>	GK 1114 – High beech forests on predominantly deep limestone and illimerized soil <i>(Fagetum montanum illyricum)</i> GK 1114 – Visoke bukove šume na pretežno dubokim vapnenačkim i ilimeriziranim tlima <i>(Fagetum montanum illyricum)</i>
Site quality <i>Bonitet</i>	3	2
Canopy <i>Sklop</i>	Dense (0.7) <i>Gust (0,7)</i>	Dense (0.8) <i>Gust (0,8)</i>
Management system <i>Način gospodarenja</i>	Group-selection <i>Skupinasto-preborni</i>	Group-selection <i>Skupinasto-preborni</i>
Growing stock, m ³ /ha <i>Drvena zaliha, m³/ha</i>	513.72	343.74
Cutting intensity, % <i>Intenzitet doznake, %</i>	14.53	20.94
Average diameter of marked trees, cm <i>Srednji promjer doznačenih stabala, cm</i>	21	35
Regeneration <i>Pomladak</i>	Medium dense <i>Srednje gust</i>	Medium dense <i>Srednje gust</i>

ding distance. The achieved gross (SMH) and net (PMH) production rate was between 20.51 m³/h and 22.93 m³/h for different skidding distances. The average production cost, considering the gross and net production rate, was between 6.31 \$/m³ and 6.22 \$/m³.

Strip roads and skid trails represent the basic network of the secondary forest openness, which provides the quickest and shortest way to felled and processed trees.

3. Materials and methods – Materijal i metode

Investigation was conducted in the northern part of the Republic of Srpska in the area of municipality of Ribnik. The research was carried out in a hilly-mountainous area in winter period with almost no snow. The temperature varied from 0 to 7 °C. Sample plots were situated in two compartments (Table 1).



Fig. 1 Skidding with LKT 81T skidder

Slika 1. Privlačenje skiderom LKT 81T

Altitude varied from 690 m to 1 230 m. Terrain inclination was between 26 and 57%. Geologic surface was limestone and partially dolomite with medium or deep rocky land. The group-selection management system was used in both compartments. The average diameter of trees marked for felling was 21 cm in compartment 98 and 35 cm in compartment 65. Canopy cover was dense with medium dense regeneration forest. When choosing compartments, it was taken into consideration that stand conditions and characteristics of forest road network would be those prevailing in beech forests in the Republic of Srpska. In each compartment, 2 sample plots i.e. work fields were selected (A1, A2, B1 and B2). Sample plots were selected so as to have as much as possible similar stand and habitat conditions. Actually, the plots only differed with respect to felled tree diameter and harvesting method. In this way, only several factors were taken into consideration, which made the comparison of technologies more reliable. In each sample plot, timber was transported after cutting. To avoid the influence of the position of skidding roads, the position of each work field was linked to the skidding road. The width of the work fields was equal to two lengths of the skidding cable. The maximum cable length was 60 m. The skidder moved along the skidding road. The length of each work field (sample plot) was equal to the length of the skidding road, up to 500 m.

In the sample plots A1 and B1, short-wood (assortment, un-mechanized cut-to-length) harvesting method was performed, where cutters cut the trees with chainsaw and wood processing was done at the site. Also, stacked wood (traditional 1 m length firewood) was produced and piled. Assortments were skidded on the forest road with the skidder LKT 81T (Fig. 1).

In the sample plots A2 and B2, a half-tree-length harvesting method was performed where cutting of trees and delimbing was done at the site. Stem stayed whole or cut to the »transport lengths« to allow easier skidding. After that, stem or parts of the stem were skidded on the forest road where processing continued.

Skidder performance was measured by time and work study method (Björheden et al. 1995). Time was divided into work operations. Time consumptions for work elements were measured by snap-back chronometry method. The distance of unloaded and loaded travel were measured with the measuring tape, slope gradient was measured by clinometers and the load data were collected by measuring the diameter and length of each piece of roundwood, technical wood under bark and roundwood fuelwood over bark.

Statistical methods were used in data evaluation (Descriptive statistics, ANOVA Regression and Correlation analysis) with the help of software Statistica 7. Strength of correlation was defined according to Roemer–Orphal's scale (Sabo and Poršinsky 2005).

4. Research results – Rezultati istraživanja

4.1 Description of sample – Opis uzorka

Table 2 presents the characteristics of the sample plots. Differences in the load characteristics between the plots are due to different characteristics of felled tree. The average number of pieces in a load was 9.94 and 9.00 on plots A1 and B1, respectively, and 11.09 and 9.57 on plots A2 and B2. The average volume of pieces in loads in assortment method was 0.28 m³ and 0.57 m³ and in half-tree-length method 0.33 m³ and 0.75 m³.

The average load volume in assortment method was 2.80 m³ (A1) and 4.98 m³ (B1), and 3.56 m³ (A2) and 6.62 m³ (B2) in half-tree-length method. The average length of the piece in assortment method was 5.38 m (A1) and 5.30 m (B1), and in half-tree-length method 8.97 m (A2) and 9.19 m (B2). In assortment method, the length of pieces varied from 3.83 m to 7.66 m. In half-tree-length method, the length of pieces varied from 6.12 m to 14.14 m.

The average skidding distance in assortment method was 250.15 m and varied from 90.00 to 460.00 m. In sample plots, where half-tree-length method was performed, the average skidding distance was 287.44 m and varied from 130.00 to 490.00 m.

4.2 Analysis of work operations – Analiza radnih operacija

The total work time is 2 132.75 min in sample plots with the assortment method and 1 505.47 min in sam-

Table 2 Load parameters**Tablica 2.** Značajke tovara

Sample plot <i>Pokusna ploha</i>	Method <i>Metoda</i>	Number of cycles <i>Broj turnusa</i>		Mean <i>Srednja vrijednost</i>	Sum <i>Zbroj</i>	Minimum <i>Najmanja vrijednost</i>	Maximum <i>Najveća vrijednost</i>	Variance <i>Varijanca</i>	Standard deviation <i>Standardna devijacija</i>	Standard error <i>Standardna pogreška</i>
A1	Assortment <i>Sortimentna</i>	34	Number of pieces in load <i>Broj komada u tovaru</i>	9.94	338.00	6.00	13.00	2.42	1.56	0.27
			Average volume of piece, m ³ <i>Prosječni obujam komada, m³</i>	0.28	–	0.19	0.40	0.00	0.04	0.01
			Load volume, m ³ <i>Obujam tovara, m³</i>	2.80	95.33	1.65	4.12	0.33	0.58	0.10
			Piece length, m <i>Duljina komada, m</i>	5.38	–	4.28	7.31	0.74	0.86	0.18
A2	Half-tree-length <i>Poludeblovna</i>	22	Number of pieces in load <i>Broj komada u tovaru</i>	11.09	244.00	8.00	15.00	2.85	1.69	0.36
			Average volume of piece, m ³ <i>Prosječni obujam komada, m³</i>	0.33	7.20	0.16	0.49	0.00	0.07	0.01
			Load volume, m ³ <i>Obujam tovara, m³</i>	3.56	78.36	0.82	5.43	1.28	1.13	0.24
			Piece length, m <i>Duljina komada, m</i>	8.97	–	8.08	10.53	0.52	0.72	0.20
B1	Assortment <i>Sortimentna</i>	34	Number of pieces in load <i>Broj komada u tovaru</i>	9.00	306.00	5.00	12.00	3.27	1.81	0.31
			Average volume of piece, m ³ <i>Prosječni obujam komada, m³</i>	0.57	19.42	0.25	1.02	0.05	0.22	0.04
			Load volume, m ³ <i>Obujam tovara, m³</i>	4.98	169.25	1.27	8.68	2.68	1.64	0.28
			Piece length, m <i>Duljina komada, m</i>	5.30	–	3.83	7.66	0.80	0.89	0.18
B2	Half-tree-length <i>Poludeblovna</i>	23	Number of pieces in load <i>Broj komada u tovaru</i>	9.57	220.00	5.00	13.00	4.35	2.09	0.43
			Average volume of piece, m ³ <i>Prosječni obujam komada, m³</i>	0.75	17.22	0.20	1.64	0.10	0.32	0.07
			Load volume, m ³ <i>Obujam tovara, m³</i>	6.62	152.31	2.03	8.48	1.91	1.38	0.29
			Piece length, m <i>Duljina komada, m</i>	9.19	–	6.12	14.40	4.08	2.02	0.54

ple plots with half-tree-length method. Total productive time is 1 638.28 min (assortment) and 1 147.93 min (half-tree-length) with the share of delays of 30.18% and 31.15%, respectively (Table 3).

The structure of work operations shows (Table 3) that the most time consuming operations in both methods were unloaded drive, loaded drive and hooking. An average cycle time for unloaded drive is 5.09 and

Table 3 Descriptive analysis of work time**Tablica 3.** Opis radnoga vremena

Work operation <i>Radni zahvat</i>	Average per cycle, min <i>Prosječno po turnusu, min</i>		Standard deviation, min <i>Standardna devijacija, min</i>		Sum, min <i>Zbroj, min</i>		Minimum, min/cycle <i>Najmanja vrijednost, min/turnus</i>		Maximum, min/cycle <i>Najveća vrijednost, min/turnus</i>	
Method <i>Metoda</i>	Assortment <i>Sortimentna</i>	Half-tree-length <i>Poludeblovna</i>	Assortment <i>Sortimentna</i>	Half-tree-length <i>Poludeblovna</i>	Assortment <i>Sortimentna</i>	Half-tree-length <i>Poludeblovna</i>	Assortment <i>Sortimentna</i>	Half-tree-length <i>Poludeblovna</i>	Assortment <i>Sortimentna</i>	Half-tree-length <i>Poludeblovna</i>
Unloaded drive <i>Neopterećeno kretanje</i>	5.09	5.20	2.51	1.75	345.78	234.01	1.48	2.33	12.34	9.58
Pulling out of cable <i>Izvlačenje užeta</i>	1.61	1.48	0.80	0.59	104.58	66.52	0.37	0.33	5.53	2.87
Hooking <i>Vežanje tovara</i>	5.23	5.46	2.50	1.90	355.31	245.54	1.20	1.50	12.06	10.02
Winching <i>Skupljanje vitlom</i>	2.92	3.32	1.40	1.63	198.78	149.24	0.73	0.48	8.28	7.30
Forming of load <i>Formiranje tovara</i>	2.04	1.95	1.51	0.83	89.56	42.98	0.16	0.67	8.00	4.00
Loaded drive <i>Opterećeno kretanje</i>	4.72	5.53	1.97	1.59	321.22	248.94	0.31	1.85	9.16	8.87
Unhooking <i>Odvezivanje tovara</i>	2.34	2.29	0.92	0.67	156.94	103.05	0.90	1.00	6.00	4.22
Landing bunching <i>Uhrpavanje</i>	0.98	1.34	0.51	0.53	61.83	57.65	0.25	0.55	2.88	2.57
Productive work time, min <i>Proizvodno radno vrijeme, min</i>	–	–	–	–	1 638.28	1 147.93	–	–	–	–
Total delays, min <i>Dodatno vrijeme, min</i>	–	–	–	–	494.47	357.54	–	–	–	–
Total delays, % <i>Dodatno vrijeme, %</i>	–	–	–	–	30.18	31.15	–	–	–	–
Total work time, min <i>Ukupno radno vrijeme, min</i>	–	–	–	–	2 132.75	1 505.47	–	–	–	–

5.20 min/cycle for assortment and half-tree-length method, respectively. An average cycle time for loaded drive is 4.72 (assortment) and 5.53 min/cycle (half-tree-length) and the average time for hooking is 5.23 min/cycle (assortment) and 5.46 min/cycle (half-tree-length).

The shortest work operations are pulling out of the cable and landing bunching. The time for pulling out of the cable is 1.61 (assortment) and 1.48 min/cycle (half-tree-length) and for landing bunching 0.98 (assortment) and 0.34 min/cycle (half-tree-length). The structure of productive work time shows that in both

working methods the structure of working operations in productive work time is very similar (Fig. 2).

The structure of delays is presented in Table 4. Delay times are times that are not directly connected to skidding but are unavoidable in the working process. It can be seen that the preparatory-final time accounts for 35% (assortment) and 33% (half-tree-length) of delay times, followed by personal delays with 28% (assortment) and 29% (half-tree-length). Coefficients of delays are 1.30 for assortment and 1.31 for half-tree-length method. Reference can be made of early studies

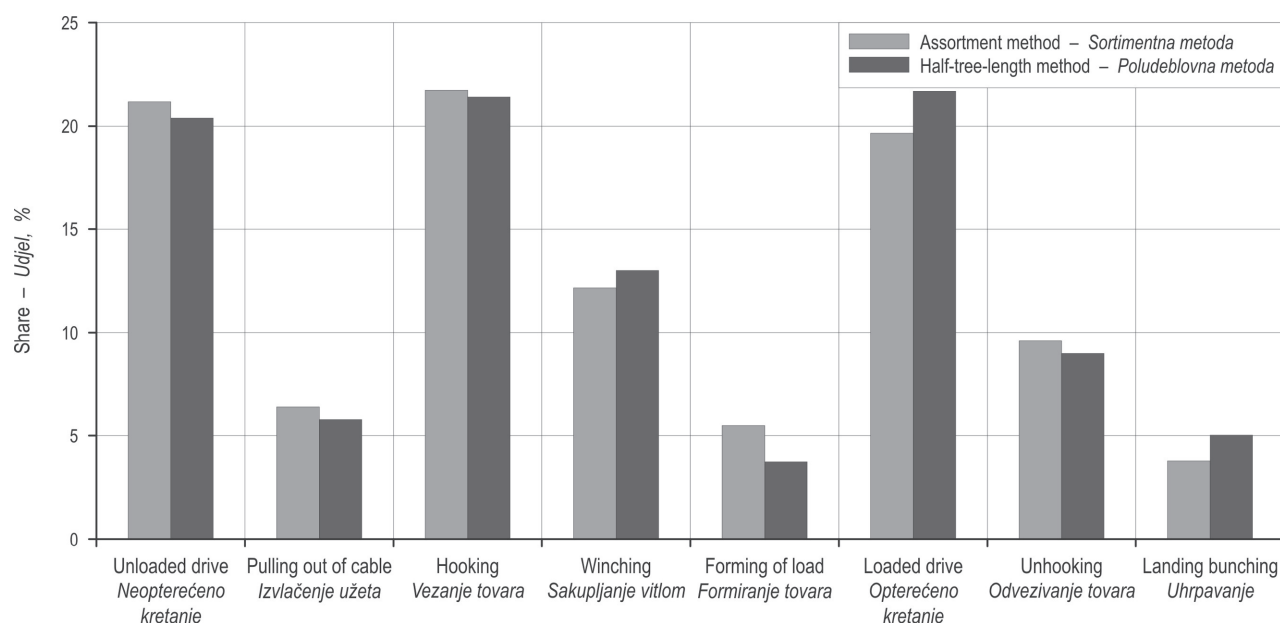


Fig. 2 Relative share of work operations in productive work time

Slika 2. Relativni udio radnih operacija u proizvodnom radnom vremenu

Table 4 Structure of delays

Tablica 4. Struktura dodatnih vremena

Delays Dodatno vrijeme	Assortment method Sortimentna metoda		Half-tree-length method Poludeblovna metoda	
	min	%	min	%
Preparatory-final time Pripremno-završno vrijeme	173.40	28	119.30	29
Technical delay Tehnički prekidi rada	66.93	13	59.37	17
Organizational delay Organizacijski prekidi rada	117.14	24	74.87	21
Personal delay Osobni prekidi rada	137.00	35	104.00	33
Total delays Ukupno prekidi rada	494.47	100	305.54	100

of tractor skidding (Krivec 1967), where preparatory time was presented as a special problem with known content, tractor preparation and maintenance.

4.3 Work time analysis – Analiza radnoga vremena

The influence of different factors on work operations time was examined with regression and correla-

tion analysis. Strength of the influence is presented with R , with the level of significance $p \leq 0.05$.

Regression models that show best the dependence between variables are presented in Table 6 and 7. These functions are used for comparison between methods and for productivity and cost calculation. In work operations, where no significant dependencies were recorded, mean values are used for productivity calculations.

4.3.1 Assortment method – Sortimentna metoda

Unloaded drive showed very strong dependence on the driving distance with the correlation coefficient $R = 0.82$. This correlation is presented with linear equation (Table 5). Strong correlation was established in dependence of hooking on load volume, $R = 0.58$. Medium correlations were established in dependence of pulling out of the cable on pulling distance ($R = 0.48$) and of loading bunching on load volume ($R = 0.44$). Very strong correlation was observed in the influence of driving distance and load volume on loaded driving ($R = 0.90$). Weak correlations were established in dependence of winching on winching distance ($R = 0.38$), unhooking on load volume ($R = 0.39$), and forming of load on load volume ($R = 0.36$).

4.3.2 Half-tree-length method – Poludeblovna metoda

Unloaded drive showed very strong dependence on the driving distance with the correlation coefficient $R = 0.87$. This correlation is presented with linear equa-

Table 5 Time dependence analysis – assortment method**Tablica 5.** Analiza ovisnosti vremena – sortimentna metoda

Work operation <i>Radni zahvat</i>	N	Independent variable <i>Nezavisna varijabla</i>	Model <i>Model</i>	<i>F</i> -test	<i>R</i>	<i>p</i>	Standard error <i>Standardna pogreška</i>
Unloaded drive <i>Neopterećeno kretanje</i>	65	x_1 – distance, m x_1 – udaljenost, m	$y_1 = -0.189 + 0.0212x_1$	134.62	0.82	0.000	1.449
Pulling out of cable <i>Izvlačenje užeta</i>	58	x_2 – distance, m x_2 – udaljenost, m	$y_2 = 0.3208 + 0.047x_2$	17.17	0.48	0.000	0.728
Hooking <i>Vežanje tovara</i>	65	x_3 – load volume, m ³ x_3 – obujam tovara, m ³	$y_3 = 1.2243 + 1.0536x_3$	32.65	0.58	0.000	2.057
Winching <i>Skupljanje vitlom</i>	59	x_4 – distance, m x_4 – udaljenost, m	$y_4 = 1.5973 + 0.0546x_4$	10.38	0.38	0.002	1.294
Forming of load <i>Formiranje tovara</i>	42	x_5 – load volume, m ³ x_5 – obujam tovara, m ³	$y_5 = 0.5799 + 0.3672x_5$	6.15	0.36	0.017	1.431
Loaded drive <i>Opterećeno kretanje</i>	65	x_6 – distance, m x_6 – udaljenost, m x_7 – load volume, m ³ x_7 – obujam tovara, m ³	$y_6 = -0.1162 + 0.0171x_6 + 0.1469x_7$	146.69	0.90	0.000 0.026	0.851
Unhooking <i>Odvezivanje tovara</i>	61	x_8 – load volume, m ³ x_8 – obujam tovara, m ³	$y_7 = 1.4811 + 0.2462x_8$	2.83	0.39	0.008	0.906
Landing bunching <i>Uhrpavanje</i>	60	x_9 – load volume, m ³ x_9 – obujam tovara, m ³	$y_8 = 0.4632 + 0.1357x_9$	14.36	0.44	0.000	0.465

tion (Table 6). Strong correlation was established in dependence of landing bunching on load volume, $R = 0.60$ and in dependence of winching on winching distance ($R = 0.64$). Medium correlation was established in dependence of pulling out of the cable on pulling distance ($R = 0.49$). Very strong correlation was observed in the influence of driving distance and load volume on loaded driving ($R = 0.90$). Weak correlations were established in dependence of unhooking on load volume ($R = 0.38$) and hooking of load on load volume ($R = 0.37$). Forming of load showed no significant dependence on any examined influencing factors. The significance level of all correlations is $p \leq 0.05$.

4.4 Productivity and costs – *Proizvodnost i troškovi*

Productivity was calculated so that the time required for each work operation (y_1, y_2, \dots, y_8) was calculated by regression equation for cases where significant dependence on influencing factors was established, or using the average values for given distance and load volume if there was no dependence. The sum of work operation times was multiplied with delay time coefficient. For comparison, productivity is

presented for all four sample plots for the mean distance of 250 m and average load volume in each sample plot (Table 7). Costs of the working day of skidder LKT 81 T was calculated on the base of official methodology used by the Public Company »Šume RS«, which is based on Myiata (1980). The cost of an 8-hour working day is 323.53 € (40.44 €/hour).

5. Discussion – *Rasprava*

The number of pieces in a load is similar in both methods, 9.94 (A1) and 9.00 (B1) in assortment method and 11.09 (A2) and 9.57 (B2) in half-tree-length method. It can be said that in this case the number of pieces in a load is rather the result of the skidder hooking capacity than of the volume or length of pieces. A possible explanation for that could be that in both methods the maximum volume and hence also the volume weight of the load is below the skidding capacity of the skidder. The average volume of a log is notably bigger in half-tree length method, 0.28 m³ (A1) against 0.33 m³ (A2) and 0.57 m³ (B1) against 0.75 m³ (B2). The difference is more noticeable in sample plots with larger average log pieces. Consequently, the average load volume in assort-

ment method was 2.80 m³ (A1) and 4.98 m³ (B1), and 3.56 m³ (A2) and 6.62 m³ (B2) in half-tree-length method. The average load is 22% (B1 against A1) and 25% (B2 against A2) bigger in half tree length method if all other conditions are the same. The average length of the logs in assortment method was 5.38 m and 5.30 m, and 8.97 m and 9.19 m in half-tree-length method. The average length of logs is 40% and 42% larger in half-tree-length method. These results are comparable with the findings of Horvat et al. (2007) who established that the load volume of Ecotrac 120V skidder in selective cutting is 5.34 m³ and consists of 5.7 pieces in average, with the length of 7 m and volume of 0.93 m³. They established that the daily efficiency ranged from 57.49 m³/day (100 m) to 35.74 m³/day (500) in hilly working site, which is a little lower than established in this research. In the mountain working site, the daily output of 48.53 m³/day to 35.54 m³/day can be achieved for the same distance (Horvat et. al. 2007).

When looking at the duration of individual work operations, it can be seen that unloaded drive, loaded drive and hooking are the most time consuming operations. Statistical analysis of the duration of work operations showed that only loaded drive differs significantly between treatments (Table 5 and Table 6).

Relative share of each individual operation in productive work time is very similar in both methods. The coefficients of allowance time for skidders obtained in this study, 1.30 and 1.31, are slightly bigger than those established by Zečić and Marenče (2005), 1.24 and 1.29. Total allowance time of the skidder Ecotrac 120V in the hilly working site was 34.25% of the effective time and in the mountain working site 17.95% of the effective time. The factor of allowance time was 1.34 and 1.18, respectively (Horvat et. al. 2007).

Multiple linear regression analysis showed that work operations depend mainly on distance and load volume in both methods. Loaded drive depends on distance and load volume. Strength of correlation relationship is similar in both methods. These findings are in compliance with other researches referenced in literature review.

In half-tree-length method, only forming of load showed no significant dependence on any examined variable. The reason for that may be the consequence of small sample because this operation did not appear in each work cycle.

In this case, the productivity is 16 and 25% higher in half-tree length method than in assortment method.

Table 6 Time dependence analysis – half-tree-length method

Tablica 6. Analiza ovisnosti vremena – poludeblovna metoda

Work operation <i>Radni zahvat</i>	<i>N</i>	Independent variable <i>Nezavisna varijabla</i>	Model <i>Model</i>	<i>F</i> -test	<i>R</i>	<i>p</i>	Standard error <i>Standardna pogreška</i>
Unloaded drive <i>Neopterećeno kretanje</i>	39	x_1 – distance, m x_1 – udaljenost, m	$y_1 = 0.4808 + 0.0169x_1$	119.14	0.87	0.000	0.869
Pulling out of cable <i>Izvlačenje užeta</i>	39	x_2 – distance, m x_2 – udaljenost, m	$y_2 = 0.8146 + 0.0246x_2$	11.77	0.49	0.001	0.522
Hooking <i>Vežanje tovara</i>	36	x_3 – load volume, m ³ x_3 – obujam tovara, m ³	$y_3 = 3.6482 + 0.4596x_3$	5.54	0.37	0.024	1.801
Winching <i>Skupljanje vitlom</i>	39	x_4 – distance, m x_4 – udaljenost, m	$y_4 = 0.9294 + 0.0918x_4$	26.29	0.64	0.000	1.305
Forming of load <i>Formiranje tovara</i>	19	–	y_5 = average per cycle y_5 = prosjek po turnusu	–	–	–	–
Loaded drive <i>Opterećeno kretanje</i>	39	x_6 – distance, m x_6 – udaljenost, m x_7 – load volume, m ³ x_7 – obujam tovara, m ³	$y_6 = 0.3261 + 0.0157x_6 + 0.1487x_7$	74.08	0.90	0.000 0.002	0.683
Unhooking <i>Odvježivanje tovara</i>	30	x_8 – load volume, m ³ x_8 – obujam tovara, m ³	$y_7 = 1.4544 + 0.1417x_8$	4.78	0.38	0.037	0.613
Landing bunching <i>Uhrpavanje</i>	38	x_9 – load volume, m ³ x_9 – obujam tovara, m ³	$y_8 = 0.5178 + 0.1556x_9$	20.69	0.60	0.000	0.404

Table 7 Productivity and costs for skidding distance of 250 m**Tablica 7.** Proizvodnost i troškovi za udaljenost privlačenja 250 m

Sample plot <i>Pokusna ploha</i>	A1	B1	A2	B2
Method <i>Metoda</i>	Assortment <i>Sortimentna</i>	Half-tree-length <i>Poludeblovna</i>		
Load volume, m ³ <i>Obujam tovara, m³</i>	2.80	4.98	3.56	6.62
Cycle time, min <i>Vrijeme turnusa, min</i>	29.80	35.61	31.72	35.63
Standard time, min/m ³ <i>Norma vremena, min/m³</i>	10.64	7.15	8.91	5.38
Productivity, m ³ /day <i>Učinak, m³/dan</i>	42.29	62.93	50.50	83.64
Costs, €/m ³ <i>Troškovi, €/m³</i>	7.65	5.14	6.41	3.86

The costs are 17% (B1 against A1) and 25% (B2 against A2) lower for half-tree-length method when all other conditions are the same. In the research of Horvat et al. (2007), the costs were between 3.74 and 6.01 €/m³ for preparatory felling and between 4.45 and 6.05 €/m³ in the mountain site.

The difference in costs increases with the increase of the difference of the average piece volume of the two skidding methods.

6. Conclusions – Zaključci

Many researchers showed in their studies that skidding of long wood (half-tree-length and tree-length method) is more productive than skidding of short wood (assortment method). There are a few reasons why the assortment method is still dominant in the forestry of B&H. One of the most important is that local forestry regulations provide that it is not allowed to move the assortments away from the felling site unless they are marked (deboned). This is a matter of regulations and can be easily changed. Also, stacked wood, which remains in the forest when using the assortment method, is usually removed by animals. Another reason is that the density of the secondary forest road network is still not satisfactory and that the forest road network is often not designed optimally. Consequently, the possibility of manipulating longer pieces of wood is limited.

Also, there is the opinion that skidding of long wood causes more damage to the stand. This is par-

tially true but investigations show that the damage can be kept at an acceptable level if work is performed by well trained and skilled workers. It is getting harder and harder for forest managers to find animals on the labor market, so often stacked wood remains unused in the forest. This is unacceptable considering the tendency of increasing forest biomass utilization. Regarding the constant need for increasing the work productivity and efficiency, it is necessary to improve the whole harvesting system and start practicing the tree-length or half-tree-length harvesting method in felling and processing. As a result of that, the skidded wood would be as long as allowed by other stand conditions.

7. References – Literatura

- Behjou, F. K., Majnounian, B., Namiranian, M., Dvořák, J., 2008: Time study and skidding capacity of wheeled skidder Timberjack 450C in Caspian forests. *Journal of Forest Science* 54(4): 183–188.
- Bembenek, M., Mederski, P. S., Erler, J., Gieffing, D. F., 2011: Results of large-size timber extracting with a grapple skidder. *Acta Sci. Pol., Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria* 10(3): 5–14.
- Björheden, R., Apel, K., Shiba, M., Thompson, M. A., 1995: IUFRO Forest work study nomenclature. Swedish University of Agricultural Science, Dept. of Operational Efficiency, Garpenberg, 16p.
- Ghaffariyan, A., 2012: Productivity of roadside processing system in Western Australia. *Silva Balcanica* 13(1): 49–60.
- Ghaffariyan, M. R., Naghdi, R., Ghajar, I., Nikooy, M., 2013: Time Prediction Models and Cost Evaluation of Cut-To-Length (CTL) Harvesting Method in a Mountainous Forest. *Small-Scale Forestry* 12(2): 181–192.
- Holmes, P., Blate, G., Zweede, J., Pereira, Jr. R., Barreto, P., Boltz, F., Bauch, R., 2002: Financial and ecological indicators of reduced impact logging performance in the eastern Amazon. *Forest Ecology and Management* 163: 93–110.
- Horvat, D., Zečić, Ž., Šusnjar, M., 2007: Morphological characteristics and productivity of skidder ECOTRAC 120V. *Croatian Journal of Forest Engineering* 28(1): 11–25.
- Košir, B., Krajnc, N., Piškur, M., 2009: Uvajanje tehnologije strojne sečnje in izkoriščanja sečnih ostankov. Konačno poročilo projekta, Biotehniška fakulteta Ljubljana, 177p.
- Krivec, A., 1967: Preučevanje mehanizacije transporta lesa. IGLG, Ljubljana, 203p.
- Kulušić, B., 1981: Tehnološka tipizacija bukovih šuma i mješovitih šuma bukve, jele i smrče u SR BiH. Prilog poznavanju tehnologije iskoriščavanja bukovih šuma u SR BiH. Naučnoistraživački projekat, Šumarski fakultet Sarajevo, 83p.

Kulušić, B., Jovanović, B., Miodragović, D., Ljubojević, S., Davidović, V., 1980: Prilog poznavanju tehnologije iskorišćavanja bukovih šuma u SR BiH, 82p.

Ljubojević, S., 1990: Uticaj nekih faktora na učinke privlačenja bukove i jelove deblovine zglobnim traktorom Timberjack 350A na teškim terenima. *Mehanizacija šumarstva* 15(5-6): 101–106.

Miyata, E. S., 1980: Determining fixed and operating costs of logging equipment. General Technical Report NC-55. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, St. Paul, 16p.

Mousavi, R., 2009: Comparison of productivity, cost and environmental impacts of two harvesting methods in Northern Iran: short-log vs. long-log. University of Joensuu, Faculty of Forest Sciences, 83p.

Porter, B., Strawa, P., 2006: Analiza pozyskiwania i zrywki drewna w drzewostanach jodłowych (Analysis of logging and skidding operations in fir stands). *Sylwan* 1: 67–72.

Sabo, A., Poršinsky, T., 2005: Skidding of fir roundwood by Timberjack 240C from selective forests of Gorski Kotar. *Croatian Journal of Forest Engineering* 26(1): 13–27.

Zečić, Ž., Krpan, A. P. B., Vukušić, S., 2006: Productivity of C Holder 870 F tractor with double drum winch Igland 4002 in thinning beech stands. *Croatian Journal of Forest Engineering* 27(1): 49–57.

Zečić, Ž., Marenče, J., 2005: Mathematical models for optimisation of group work in harvesting operations. *Croatian Journal of Forest Engineering* 26(1): 29–37.

Sažetak

Usporedba dviju metoda privlačenja drva u bukovim brdsko-planinskim šumama

Istraživanje različitih metoda privlačenja obavljeno je u sjeverozapadnom dijelu Republike Srpske u BiH na području općine Ribnik. Upoređivane su dvije metode privlačenja, sortimentna metoda i poludeblovna metoda. Istraživanje je obavljeno na 4 pokusne plohe u 2 odsjeka u bukovim šumama. Pokusne su se površine razlikovale po metodi rada i srednjim promjerom posječenih stabala.

Cilj je istraživanja bio usporedba proizvodnosti i ekonomičnost sortimentne metode koja je trenutačno dominantna u šumarstvu Republike Srpske i poludeblovne metode koja je modificirana deblovnna metoda. Privlačenje je obavljeno šumskim traktorom LKT 81T u zimskim uvjetima gotovo bez snijega. Pri istraživanju je primijenjen studij rada i vremena.

Rezultati su pokazali da je broj komada u tovaru vrlo sličan kod obje metode i na svim pokusnim plohama: 9,94 (A1), 9,0 (B1), 11,09 (A2) i 9,57 (B2). Zapravo je broj komada ovisio jedino o broju omči za vezanje tovara traktora.

Prosječni je obujam tovara kod sortimentne metode iznosio 2,80 m³ i 4,98 m³, a 3,56 m³ i 6,62 m³ kod poludeblovne metode. Duljine su kod sortimentne metode varirale od 3,83 do 7,66 m, a kod poludeblovne od 6,12 do 14,14 m. Udio je dodatnih vremena iznosio 30,18 % kod sortimentne metode i 31,15 % kod poludeblovne. Relativni udio trajanja radnih zahvata sličan je kod obje metode.

Za ispitivanje utjecaja pojedinih čimbenika na radni proces primijenjene su različite statističke metode. Više-struka linearna regresija pokazala je da trajanje radnih zahvata ovisi uglavnom o udaljenosti i obujmu tovara kod obje metode. Opterećeno kretanje skidera ovisi o udaljenosti i obujmu tovara. Jačina je korelacijske veze najveća kod ovisnosti trajanja neopterećenoga kretanja skidera o udaljenosti privlačenja i opterećenoga kretanja skidera o udaljenosti privlačenja, ali i o obujmu tovara vučenoga drva kod obje metode rada.

Rezultati su pokazali da je proizvodnost veća, a troškovi manji kod poludeblovne metode. Za udaljenost privlačenja od 250 m, za slične stanišne uvjete proizvodnost je 42,29 m³/dan za sortimentnu metodu (A1) i 50,50 m³/dan za poludeblovnu metodu (A2), odnosno 62,93 m³/dan (B1) i 83,64 m³/dan (B2). Troškovi su 17 % (A2 prema A1) i 40 % (B2 prema B1) niži kod poludeblovne metode. Razlika je u troškovima veća što je prosječni obujam komada u tovaru veći.

Iako su mnoga istraživanja i prije pokazala da je privlačenje dugoga drva (poludeblovna metoda) proizvodnije od privlačenja kratkoga drva (sortimentna metoda), poludeblovna metoda još uvijek nije šire prihvaćena u šumarstvu BiH. Neki od razloga su zakonske prirode, a neki su posljedica nedovoljne otvorenosti sastojina mrežom

traktorskih vlaka i putova, što je limitirajući čimbenik za manipulaciju duljim komadima. Sve teže pronalaženje animalne radne snage za iznošenje prostornoga drva i težnja za što većim postotkom iskorištenosti biomase debla te stalna potreba za povećanjem proizvodnosti i učinkovitosti vodit će ka uvođenju u praksu metoda privlačenja u kojima su komadi drva duži nego je to sadašnja praksa.

Ključne riječi: privlačenje drva skiderom, metode pridobivanja drva, studij vremena, kalkulacija troška, BIH

Authors' address – Adresa autorâ:

Dane Marčeta, MSc.*

e-mail: danemarceta@gmail.com

Vladimir Petković, MSc.

e-mail: petkovicv1603@yahoo.com

University of Banja Luka, Faculty of Forestry

Bulevar Vojvode Stepe Stepanovića 75

78000 Banja Luka

BOSNIA AND HERZEGOVINA

Prof. Boštjan Košir, PhD.

e-mail: bokosir@gmail.com

University of Ljubljana, Biotechnical Faculty

Jamnikarjeva 101

1000 Ljubljana

SLOVENIA

Received (Priljeno): March 4, 2014

Accepted (Prihvaćeno): April 8, 2014

* Corresponding author – Glavni autor

Strategijsko planiranje šumskih prometnica u Republici Hrvatskoj – raščlamba postojećega stanja kao podloga za buduće aktivnosti

Tibor Pentek, Hrvoje Nevečerel, Tomislav Ecimović, Kruno Lepoglavec,
Ivica Papa, Željko Tomašić

Nacrtač – Abstract

Šumska je prometna infrastruktura nužan i nadasve potreban preduvjet pri današnjem suvremenom gospodarenju šumskim ekosustavima. Vrsta, količina i prostorni raspored svih sastavnica šumske prometne infrastrukture moraju biti pažljivo isplanirani kako bi u šumi uspostavili uistinu optimalan šumski transportni sustav. Republika Hrvatska uložila je znatna financijska sredstva u primarno otvaranje svojih šuma, ali još uvijek postoji dosta nedovoljno otvorenih šumskih područja, koja će u budućnosti biti predmet daljnjega investiranja poradi dostizanja planirane (ciljane) otvorenosti.

Planiranje se šumskih prometnica može razdijeliti u tri razine:

- ⇒ Planiranje primarnoga i sekundarnoga otvaranja šuma na razini države odnosno reljefnoga područja. To je opće planiranje – strategijsko planiranje.
- ⇒ Planiranje šumske transportne infrastrukture na razini gospodarske jedinice srednja je razina planiranja. To je taktičko planiranje.
- ⇒ Planiranje konkretne šumske prometnice nakon čega slijedi faza projektiranja šumske prometnice. To je lokalno planiranje odnosno operativno planiranje.

Osnovni su ciljevi ovoga istraživanja: razredba gospodarskih jedinica i Uprava šuma Podružnica (UŠP) u reljefne kategorije, utvrđivanje postojeće primarne klasične otvorenosti, izračun duljine planirane mreže šumskih cesta, izračun cijene planirane mreže šumskih cesta, predlaganje smjernica daljnjega otvaranja šuma Republike Hrvatske. Istraživanje je provedeno na području 16 Uprava šuma Podružnica u sastavu poduzeća »Hrvatske šume« d.o.o. Zagreb.

Od ukupne površine šuma istraživana područja (2 017 620 ha) na nizinsko područje otpada 321 470 ha (15,93 %), na prigorsko-brdsko 282 960 ha (14,02 %), na gorsko-planinsko 497 530 ha (24,66 %) i na krško područje 915 670 ha (45,39 %). Unutar nizinskoga područja najveća je postojeća primarna otvorenost u UŠP Karlovac (13,77 m/ha), a najmanja u UŠP Osijek (4,43 m/ha); u prigorsko-brdskom području najbolje je otvorena UŠP Koprivnica (17,42 m/ha), a najslabije UŠP Osijek (6,35 m/ha); u kategoriji gorsko-planinskoga područja najviši je stupanj otvorenosti u UŠP Delnice (21,59 m/ha), a najmanji (UŠP Osijek zbog jako male površine nije uzet u obzir) u UŠP Gospić (10,59 m/ha); na krškom je području najveća otvorenost u UŠP Senj (11,09 l/ha), a najmanja u UŠP Split (3,48 ha). Analizirajući po reljefnim područjima, prema planu otvorenosti za 2030. godinu, najviše šumskih cesta treba izgraditi u nizinskom području u UŠP Osijek (556,17 km), u prigorsko-brdskom području u UŠP Sisak (955,72 km), u gorsko-planinskom području u UŠP Gospić (2 309,18 km) i na području krša (6 494,72 km) u UŠP Split.

Ključne riječi: primarne šumske prometnice, sekundarne šumske prometnice, planiranje, projektiranje, izgradnja i održavanje

1. Uvod – Introduction

Šume i šumsko zemljište u Republici Hrvatskoj zauzimaju 2 688 687 ha, što čini oko 47 % njezine kopnene površine. Najveći je dio šuma u vlasništvu države (2 018 987 ha ili 75,10 %) i njima, kao i ostalim šumama državnih ustanova (87 930 ha ili 3,30 %), gospodari poduzeće »Hrvatske šume« d.o.o. Zagreb preko svojih 16 Uprava šuma Podružnica raspoređenih u cijeloj Hrvatskoj. Značajno se manja površina šuma nalazi u privatnom vlasništvu (581 770 ha ili 21,60 %).

Nepobitna je činjenica da je šumska prometna infrastruktura nužan i nadasve potreban preduvjet pri današnjem suvremenom, tehnološki naprednom, racionalnom, ekonomičnom, ekološki usmjerenom, okolišno susretljivom, na bioraznolikosti vrsta, prirodnosti šuma i potrajnosti prihoda zasnovanom gospodarenju šumskim ekosustavima (Pentek i dr. 2012).

Vrsta, količina i prostorni raspored svih sastavnica šumske prometne infrastrukture moraju biti pažljivo isplanirani kako bi u šumi uspostavili uistinu optimalan šumski transportni sustav. Kod primarnoga se šumskoga transportnoga sustava optimalnost procjenjuje s ekonomskoga, tehničko-tehnološkoga, okolišnoga (ekološko-estetskoga) i sociološkoga gledišta (Pentek 2002), a potrebno je postići sklad i harmoniju svih spomenutih kriterija procjene te doseći razinu sveobuhvatne optimizacije (svi kriteriji procjene moraju biti dovedeni u granice prihvatljivosti).

Republika Hrvatska je, posebice od svoje samostalnosti, uložila znatna financijska sredstva u primarno otvaranje svojih šuma, međutim još uvijek postoji dosta nedovoljno otvorenih šumskih područja koja će u budućnosti biti predmet daljnjega investiranja poradi dostizanja ciljane otvorenosti (Pentek i dr. 2006).

2. Problematika istraživanja – Research problem

2.1 Razredba šumske prometne infrastrukture *Classification of forest traffic infrastructure*

Šumska se prometna infrastruktura može podijeliti na primarnu, na sekundarnu i na posebnu šumsku prometnu infrastrukturu. Javne su ceste dobro u općoj uporabi u vlasništvu Republike Hrvatske, a prema Zakonu o javnim cestama (NN 180/04, 82/06, 138/06, 146/08, 152/08, 38/09, 124/09, 153/09, 73/10 i 91/10), ovisno o društvenom, prometnom i gospodarskom značenju, mogu biti: autoceste, državne ceste, županijske ceste i lokalne ceste.

Primarnu šumsku prometnu infrastrukturu čine sve kategorije šumskih cesta te one javne ceste koje se

mogu koristiti pri radovima u šumarstvu (to su najčešće javne ceste nižih kategorija – županijske i lokalne ceste). Šumske su ceste (Šikić i dr. 1989) trajni građevinski objekti koji omogućuju stalan promet motornim vozilima radi izvršavanja zadataka predviđenih planom gospodarenja. Njihovom izgradnjom šumi se trajno oduzima plodno tlo (osim u slučaju njihova zatvaranja i revitalizacije staništa). Izgrađene su od donjega i gornjega ustroja sa svim tehničkim obilježjima ceste. Možemo ih razdijeliti na temelju više kriterija.

Sastavnice sekundarne šumske prometne infrastrukture jesu sekundarne šumske prometnice: traktorski putovi, traktorske vlake i žične linije. Namijenjene su u prvom redu privlačenju drva od mjesta skupljanja drva do pomoćnoga stovarišta (primarni transport drva) te povremeno služe za izvršavanje zadataka predviđenih planom gospodarenja. Od pomoćnoga se stovarišta do krajnjega korisnika drvo može transportirati izgrađenim transportnim sustavima (šumske i javne ceste te željezničke pruge) ili vodenim putovima (rijeke, jezera, mora i oceani).

Traktorski su putovi građevinski objekti trajnoga karaktera (osim u slučaju njihova zatvaranja i revitalizacije staništa) koji su izgrađeni samo od donjega ustroja. Povezani su uz nagnute terene, teže građevinske kategorije materijala i prisutnost površinskih prepreka.

Traktorske su vlake sekundarne šumske prometnice privremenoga karaktera, nastaju prosijecanjem trase kroz šumu, eventualnim vađenjem panjeva te uzastopnim prolaskom stroja za privlačenje drva (skider, forvarder) istim tragom. Karakteristične su za ravne terene, lakše građevinske kategorije materijala i odsutnost površinskih prepreka (lako provozni tereni).

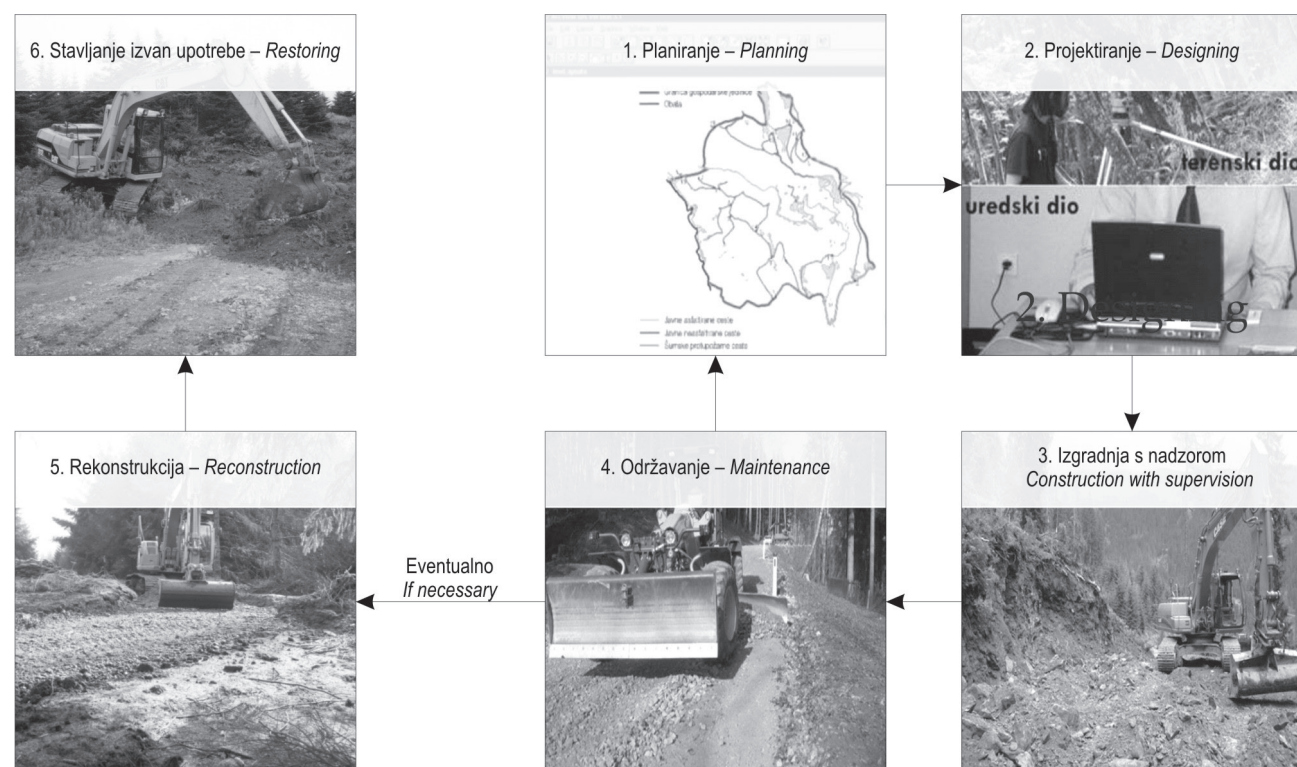
2.2 Faze uspostavljanja optimalne mreže šumske prometne infrastrukture – *Stages of establishing optimal network of forest traffic infrastructure*

Uspostavljanje se optimalne mreže šumskih prometnica na terenu obvezno odvija u ovim radnim fazama: planiranje, projektiranje, izgradnja s nadzorom i održavanje, tj. popravak (Pentek i dr. 2004). Te su faze međusobno povezane i ovisne, treba ih odrediti redoslijedom kako su navedene vodeći računa o nemogućnosti ostvarivanja svake od radnih faza ako prethodna nije završena na zadovoljavajući način. Uz te se uvijek prisutne faze optimizacije šumske prometne infrastrukture povremeno pojavljuju još dvije radne faze: faza rekonstrukcije šumskih prometnica (radi povećanja njihova standarda kada se radi o šumskim cestama, odnosno prevođenja u šumsku cestu kada se radi o traktorskim putovima) i faza zatvaranja/stavljanja izgrađenih šumskih prometnica



Slika 1. Razredba šumske prometne infrastrukture

Fig. 1 Forest traffic infrastructure classification



Slika 2. Shematski prikaz uspostavljanja optimalne mreže šumske prometne infrastrukture

Fig. 2 Scheme of establishing optimal network of forest traffic infrastructure

izvan uporabe (uz revitalizaciju/restauraciju staništa, odnosno vraćanje staništa funkciji i obliku što bliže-

mu onomu koje je imalo prije izgradnje šumske prometnice).

2.3 Planiranje šumskih prometnica – *Planning of truck forest road network*

Planiranje se šumskih prometnica, prema razini na kojoj se planiranje provodi, prema složenosti (općenitosti ili detaljnosti) postupka planiranja, sukladno razdoblju za koje se planiranje provodi te s obzirom na veličinu područja na koje se planiranje odnosi može razdijeliti u tri razine.

- ⇒ Planiranje primarnoga i sekundarnoga otvaranja šuma na razini države odnosno reljefnoga područja (nizinsko, prigorsko-brdsko, gorsko-planinsko, krško). U reljefna se područja objedinjuju gospodarske jedinice sličnih sastojinskih i stanišnih značajki. To je najviša razina planiranja, razina od koje se započinje planiranjem. To je globalno planiranje – strategijsko planiranje.
- ⇒ Planiranje šumske transportne infrastrukture (i primarnih i sekundarnih šumskih prometnica u okviru tzv. sveobuhvatnoga planiranja) na razini gospodarske jedinice srednja je razina planiranja. To je opće planiranje – taktičko planiranje.
- ⇒ Planiranje konkretne šumske prometnice (primarne ili sekundarne) – rezultati općega (taktičkoga) planiranja na razini pojedine gospodarske jedinice usmjeravaju nas ka planiranju na najnižoj razini (lokalno planiranje – operativno planiranje), nakon kojega slijedi faza projektiranja šumske prometnice.

2.3.1 Strategijsko planiranje šumskih cesta *Strategic planning of truck forest roads*

Rezultati strategijskoga planiranja mreže šumskih prometnica obvezni su dio Osnove područja koja se izrađuje na razini Republike Hrvatske, ali mogu biti i sastavnice ostalih planova.

Planiranje šumske transportne mreže na strategijskoj, najvišoj razini mora:

- ⇒ definirati reljefna područja uvažavajući mjerljive terenske i sastojinske parametre,
- ⇒ odrediti postojeću i ciljanu klasičnu otvorenost (gustoću mreže šumskih prometnica) te provesti njihovu analizu i usporedbu,
- ⇒ utvrditi buduće smjernice primarnoga i sekundarnoga otvaranja šuma te definirati modele primjenjive u različitim reljefnim područjima,
- ⇒ definirati smjernice za moguće i pogodne sustave pridobivanja drva pojedinih reljefnih područja, uz uvažavanje sastojinskih čimbenika te postojeće otvorenosti šuma.

2.3.2 Taktičko planiranje šumskih cesta *Tactical planning of truck forest roads*

Po provedbi se opisne (primarne) razredbe terena na prvoj, najvišoj razini planiranja pristupa taktičkomu planiranju na drugoj, nižoj razini, odnosno funkcionalnoj (sekundarnoj) razredbi terena. Funkcionalna razredba terena povezuje primjenu mogućih i pogodnih (5E – ekonomskih, energijskih, ekoloških, ergonomijskih i estetskih) sustava pridobivanja drva s razredima terenskih čimbenika. Sustav je pridobivanja drva određen postupcima, metodom izradbe drva (sortimentna, /polu/deblovna, stablovna) te strojevima i alatima koji se rabe pri eksploataciji određene sječne jedinice. Izbor sredstva privlačenja drva (skider, forvarder, adaptirani poljoprivredni traktor, adaptirani poljoprivredni traktor s poluprikolicom, žičara), u svjetlu djelovanja terenskih (reljefnih područja) i sastojinskih čimbenika te razine primarne i sekundarne otvorenosti šuma, najvažnija je odrednica cijeloga sustava pridobivanja drva.

Rezultat je taktičkoga planiranja studija otvaranja šuma (primarnoga i/ili sekundarnoga) za pojedinu gospodarsku jedinicu. Studija primarnoga i sekundarnoga otvaranja šuma (sveobuhvatna studija otvaranja šuma) omogućuje:

- ⇒ sustavno, plansko i kontrolirano otvaranje šuma,
- ⇒ racionalizaciju troškova izgradnje šumskih prometnica,
- ⇒ sustavno, plansko i kontrolirano održavanje i popravak šumskih prometnica,
- ⇒ racionalizaciju radova održavanja i popravaka šumskih prometnica,
- ⇒ planiranje, kontrolu i racionalizaciju radova pridobivanja drva,
- ⇒ minimiziranje negativnoga utjecaja šumskih prometnica i radova pridobivanja drva na okoliš (šumski ekosustav) i dr.

Svaka kvalitetna studija primarnoga otvaranja šuma treba sadržavati ove podatke:

1. Za postojeći šumski transportni sustav:
 - ⇒ potpuni (ažuriran) katastar postojeće primarne i sekundarne šumske prometne infrastrukture,
 - ⇒ postojeću primarnu i sekundarnu klasičnu otvorenost, m/ha,
 - ⇒ postojeće srednje udaljenosti privlačenja drva, m,
 - ⇒ ciljanu primarnu otvorenost i iz nje izračunatu ciljanu (planiranu) srednju udaljenost privlačenja drva,
 - ⇒ numeričke, grafičke i slikovne (zemljovidni) rezultate raščlambe postojeće primarne relativne otvorenosti.

2. Za unaprijeđeni primarni šumski transportni sustav:

- ⇒ numeričke, grafičke i slikovne (zemljovidni) rezultate raščlamba primarne relativne otvorenosti za unaprijeđeni primarni šumski transportni sustav,
- ⇒ primarnu klasičnu otvorenost za unaprijeđeni primarni šumski transportni sustav, m/ha,
- ⇒ srednje udaljenosti privlačenja drva za pojedini odsjek, m,
- ⇒ idejne trase planiranih šumskih cesta (definirane koordinatama lomnih točaka trasa),
- ⇒ kategoriju svake od idejnih trasa šumskih cesta,
- ⇒ troškovnu sastavnicu (predviđenu cijenu koštavanja) i ekonomsku opravdanost izgradnje svake idejne trase šumske ceste,
- ⇒ dinamiku izgradnje cjelokupne (optimalne) buduće mreže primarne šumske prometne infrastrukture usklađenu s propisanim radovima u planu gospodarenja,
- ⇒ dinamiku održavanja cjelokupne (optimalne) buduće mreže primarne šumske prometne infrastrukture,
- ⇒ ostale podatke značajne za bilo koju fazu uspostavljanja optimalne mreže primarne šumske prometne infrastrukture.

2.3.3 Operativno planiranje šumskih cesta
Operational planning of truck forest roads

Nakon dovršenoga postupka taktičkoga planiranja šumskih prometnica, odnosno izrade studije primarnoga i sekundarnoga otvaranja šuma, rezultat koje je optimalna (najbolja moguća) mreža šumskih prometnica, pristupa se operativnomu planiranju. Operativno se planiranje provodi za svaku šumsku prometnicu zasebno i prethodi fazi njezina projektiranja. Veličina otvaranoga područja ovisi o vrsti i kategoriji šumske prometnice te o njezinoj duljini. Tako se mogu razlučiti otvaranje skupine odjela/odsjeka (šumskoga kompleksa), pojedinoga odjela/odsjeka, određenoga gravitacijskoga područja, pojedine sječine ili njezina dijela.

Studijama primarnoga i sekundarnoga otvaranja šuma, izrađenim pomoću GIS-a, definiraju se idejne trase budućih sastavnica šumske transportne mreže. Idejne su trase šumskih prometnica određene glavnim lomnim točkama (točke u kojima idejna trasa mijenja svoj smjer). Koordinate svake lomne točke, a time i trasa šumske prometnice u cjelini, mogu pomoću GPS-ova prijamnika odgovarajuće kvalitete precizno i brzo biti prenesene i obilježene na terenu. Tako utvrđene idejne trase šumskih prometnica na terenu su zamjena za nulte linije koje su, u ne tako dalekoj prošlosti, klasičnom metodom »koraka šestara« projektirane na slojničkom zemljovidu.

U idejnu se trasu šumske prometnice uklapa operativni poligon, a zatim se definira osovinski poligon šumske ceste; dalje slijede poznate sastavnice faze projektiranja šumskih prometnica.

3. Ciljevi i metode istraživanja – Research goals and methods

3.1 Ciljevi istraživanja – Research goals

- ⇒ razredba gospodarskih jedinica i Uprava šuma Podružnica (UŠP) u reljefne kategorije,
- ⇒ utvrđivanje postojeće primarne klasične otvorenosti (po gospodarskoj jedinici, po UŠP i po reljefnoj kategoriji),
- ⇒ izračun duljine planirane mreže šumskih cesta (po UŠP i po reljefnom području, a radi dostizanja planirane primarne klasične otvorenosti 2020. i 2030. godine),
- ⇒ izračun cijene planirane mreže šumskih cesta (po UŠP i po reljefnom području, a radi dostizanja planirane primarne klasične otvorenosti 2020. i 2030. godine),
- ⇒ predlaganje smjernica daljnjega otvaranja šuma Republike Hrvatske.

3.2 Metode rada – Research methods

3.2.1 Razredba gospodarskih jedinica i Uprava šuma Podružnica u reljefne kategorije – Relief classification for Management Units and Forest Administrations

Utvrđene su četiri kategorije reljefnih područja: nizinsko područje, prigrorsko-brdsko područje, gorsko-planinsko područje i krško područje. Prema planovima gospodarenja (gospodarska osnova ili program gospodarenja) svaka je gospodarska jedinica smještena u svoju reljefnu kategoriju. Zbrajanjem površine pojedine reljefne kategorije na razini UŠP izračunat je prvo apsolutni, a zatim i postotni udio svake reljefne kategorije u ukupnoj površini UŠP.

3.2.2 Utvrđivanje postojeće primarne klasične otvorenosti – Determining the existing primary road density

Postojeća primarna klasična otvorenost po gospodarskim jedinicama utvrdit će se temeljem katastra primarne šumske prometne infrastrukture koji je ustrojen na razini poduzeća »Hrvatske šume« d.o.o. Zagreb sa stanjem 31. 12. 2011. godine. Po okončanom prikupljanju cjelovitoga katastra primarnih šumskih prometnica slijedi objedinjavanje podataka svih gospodarskih jedinica istih reljefnih kategorija na razini UŠP i čitavoga područja istraživanja. Katastar primarne šumske prometne infrastrukture

Tablica 1. Otvorenost po Upravama šuma Podružnicama razdijeljena prema reljefnim područjima**Table 1** Forest road density of Forest Administrations by relief categories

UŠP FA	Ukupna površina UŠP <i>Total area of FA</i>	Nizinsko područje <i>Lowland area</i>		Prigorsko-brdsko područje <i>Hilly area</i>		Gorsko-planinsko područje <i>Mountainous area</i>		Krško područje <i>Karst area</i>	
	1 000 ha	1 000 ha	km/1 000 ha	1 000 ha	km/1 000 ha	1 000 ha	km/1 000ha	1 000 ha	km/1 000 ha
VINKOVCI	72,43	72,43	7,46	—	—	—	—	—	—
OSIJEK	61,95	52,60	4,43	6,98	6,35	2,36	8,89	—	—
NAŠICE	77,08	27,74	12,74	15,56	13,54	33,78	20,70	—	—
POŽEGA	52,34	2,66	6,07	1,69	12,76	47,98	15,85	—	—
NOVA GRADIŠKA	75,46	31,89	8,82	33,25	9,21	10,31	11,84	—	—
BJELOVAR	133,09	25,44	11,92	70,65	11,76	37,00	12,01	—	—
KOPRIVNICA	61,99	20,83	13,68	31,90	17,42	9,25	18,44	—	—
ZAGREB	80,01	40,27	11,91	16,89	13,74	22,85	14,72	—	—
SISAK	88,52	35,03	7,05	53,49	7,13	—	—	—	—
KARLOVAC	83,07	12,12	13,77	52,54	11,48	18,41	12,03	—	—
OGULIN	60,76	—	—	—	—	60,76	13,97	—	—
DELNICE	98,80	—	—	—	—	87,50	21,59	11,30	9,71
SENJ	111,07	—	—	—	—	48,35	18,69	62,71	11,09
GOSPIĆ	323,14	0,45	11,09	—	—	118,97	10,59	203,72	5,09
BUZET	74,34	—	—	—	—	—	—	74,34	8,06
SPLIT	563,59	—	—	—	—	—	—	563,59	3,48
UKUPNO – TOTAL	2 017,62	321,47	9,05	282,96	11,26	497,53	15,43	915,67	4,81

u državnim šumama Republike Hrvatske, nakon izgradnje pojedine šumske ceste, na godišnjoj razini, redovito se ažurira, te sve podatke smatramo pouzdanim i relevantnim.

3.2.3 Izračunavanje duljine planirane mreže šumskih cesta – *Calculation of length for the planned forest road network*

Iz razlike postojeće i planirane primarne klasične otvorenosti (2020. i 2030. godine) pojedinoga UŠP te

njegove površine izračunata je ukupna duljina planiranih šumskih cesta koje treba izgraditi. Pretpostavljeno je da će sve buduće šumske ceste čitavom svojom duljinom ulaziti u obračun otvorenosti. Planirana je primarna klasična otvorenost šuma izračunata na temelju primjenjivih (pogodnih) sustava pridobivanja drva i teorijskim modelima primarnoga otvaranja šuma u pojedinim reljefnim kategorijama. Uvažene su optimalne srednje udaljenosti privlačenja drva za po-

Tablica 2. Minimalna potrebna (Šikić i dr. 1989), minimalna klasična (Hodić i dr. 2011) te planirana otvorenost za 2020. (Hodić i dr. 2011) i 2030. godinu po reljefnim područjima**Table 2** Primary road density (RD) regarding relief areas: minimum in 1989, minimum in 2011, planned by 2020 and planned by 2030

Reljefno područje <i>Relief area</i>	Minimalna potrebna klasična otvorenost 1989. <i>Minimum road density 1989</i>	Minimalna klasična otvorenost 2011. <i>Minimum road density 2011</i>	Planirana (ciljana) klasična otvorenost 2020. <i>Planned road density 2020</i>	Planirana klasična otvorenost 2030. <i>Planned road density 2030</i>
	m/ha			
Nizinsko područje <i>Lowland area</i>	7,00	10,00	13,00	15,00
Prigorsko-brdsko područje <i>Hilly area</i>	12,00	15,00	20,00	25,00
Gorsko-planinsko područje <i>Mountainous area</i>	15,00	20,00	25,00	30,00
Krško područje <i>Karst area</i>	Nema podataka <i>No data</i>	10,00	15,00	15,00

jedine šumske strojeve koji služe za privlačenje drva u Republici Hrvatskoj. Pri transformaciji je teorijske srednje udaljenosti privlačenja u stvarnu srednju udaljenost privlačenja drva korišten sveukupni faktor korekcije (koji u sebi objedinjuje mrežni faktor korekcije i faktor korekcije privlačenja drva).

3.2.4 Troškovna analiza nove mreže planiranih šumskih cesta – *Calculation of construction costs of the planned forest road network*

Troškovna analiza nove mreže planiranih šumskih cesta izradit će se prema tehničkim značajkama šumskih cesta propisanih u važećim Tehničkim uvjetima za gospodarske ceste (Šikić i dr. 1989) i plan-
skih cijena izgradnje šumskih cesta u različitim reljefnim kategorijama poduzeća »Hrvatske šume« d.o.o. Zagreb.

3.2.5 Predlaganje smjernica daljnjega otvaranja šuma Republike Hrvatske – *Guidelines for future construction of forest roads in Croatia*

Detaljnou analizom potrebe izgradnje primarnoga šumskoga transportnoga sustava idućih dvadesetak godina, uvidom u dosadašnju dinamiku izgradnje šumskih cesta, uzevši u obzir financijske, proizvodne, organizacijske, stručne i tehničko-tehnološke kapacitete poduzeća »Hrvatske šume« d.o.o. Zagreb, definirat će se dinamika i prioriteti razvijanja postojeće mreže primarnoga šumskoga transportnoga sustava.

4. Područje istraživanja – *Research area*

Istraživanje je provedeno na području 16 Uprava šuma Podružnica u sastavu poduzeća »Hrvatske šume« d.o.o. Zagreb.



Slika 3. Područje istraživanja

Fig. 3 Research area

5. Rezultati istraživanja – *Research results*

5.1 Razredba Uprava šuma Podružnica u reljefne kategorije i određivanje postojeće primarne klasične otvorenosti – *Classification of Forest Administrations into relief categories and determination of existing primary road density*

Temeljem provedene razredbe reljefnih područja Uprave šuma Podružnice, radi preglednosti i usporedivosti rezultata, razvrstane su u reljefne kategorije.

Od ukupne površine šuma istraživana područja (2 017 620 ha) na nizinsko područje otpada 321 470 ha (15,93 %), na prigorsko-brdsko 282 960 ha (14,02 %), na gorsko-planinsko 497 530 ha (24,66 %) i na krško područje 915 670 ha (45,39 %). Samo se četiri UŠP čitavom svojom površinom nalaze u jednoj reljefnoj kategoriji (UŠP Vinkovci u nizinskoj, UŠP Ogulin u gorsko-planinskoj te UŠP Buzet i UŠP Split u krškoj). Područja kojima gospodare ostale Uprave šuma Podružnice prostiru se u dvjema (četiri UŠP) ili u trima (osam UŠP) reljefnim kategorijama.

U nizinskom području prosječna postojeća primarna klasična otvorenost iznosi 9,05 m/ha, u prigorsko-

brdskom području 11,26 m/ha, u gorsko-planinskom području 15,43 m/ha i u krškom području 4,81 m/ha.

Uspoređujući postojeću gustoću primarne šumske prometne infrastrukture po pojedinoj kategoriji reljefnoga područja može se zaključiti sljedeće: unutar nizinskoga područja najveća je otvorenost u UŠP Karlovac (13,77 m/ha), a najmanja u UŠP Osijek (4,43 m/ha); u prigorsko-brdskom području najbolje je otvoren UŠP Koprivnica (17,42 m/ha), a najslabije UŠP Osijek (6,35 m/ha); u kategoriji gorsko-planinskoga područja najviši je stupanj otvorenosti u UŠP-u Delnice (21,59 m/ha), a najmanji (UŠP Osijek zbog jako male površine nije uzet u obzir) u UŠP Gospić (10,59 m/ha); na krškom je području najveća otvorenost u UŠP Senj (11,09 /ha), a najmanja u UŠP Split (3,48 ha).

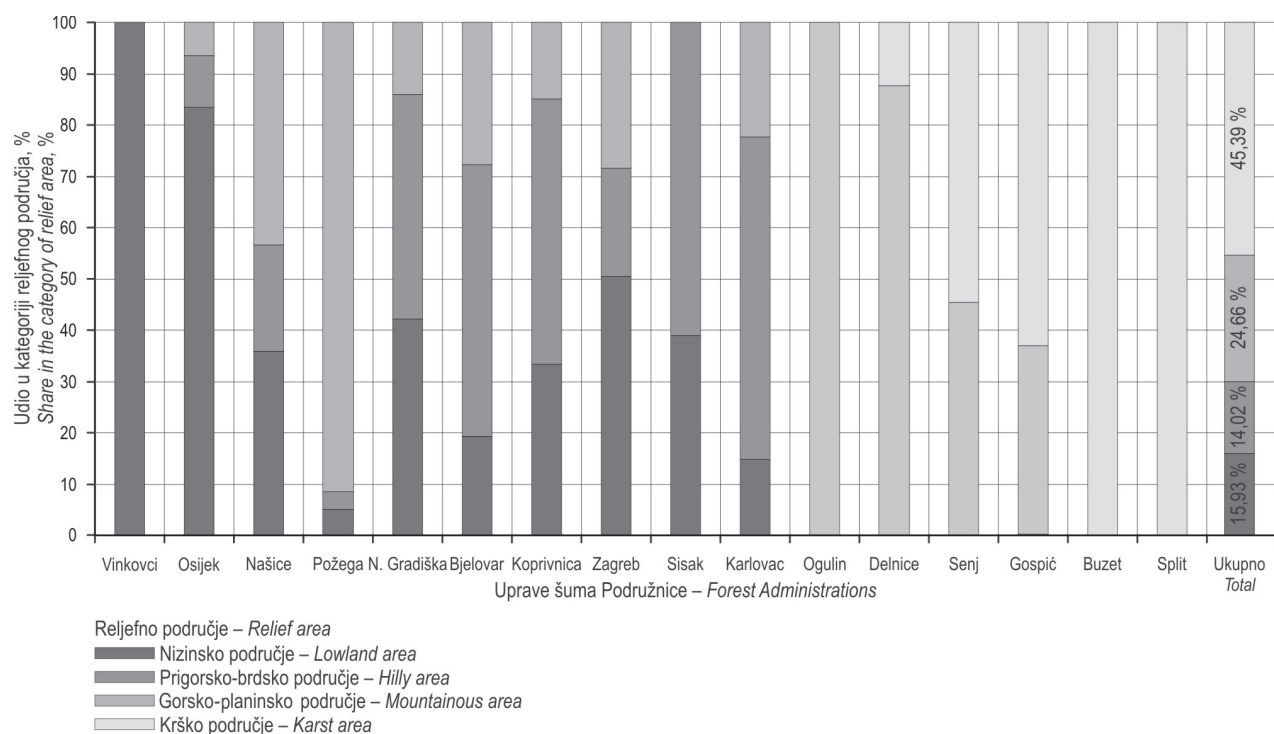
5.2 Izračun duljine planirane mreže šumskih cesta 2020. i 2030. godine – *Calculation of planned truck forest road network by 2020 and 2030*

Prema reljefnim kategorijama i ukupnoj površini svakoga UŠP izračunata je planirana primarna klasična otvorenost 2020. i 2030. godine. Za obje je inačice planirane primarne klasične otvorenosti određena duljina šumskih cesta koje je potrebno izgraditi do isteka plan-skoga razdoblja.

Tablica 3. Duljina šumskih cesta koje je potrebno izgraditi do doseganja planirane primarne klasične otvorenosti 2020. godine za pojedinu UŠP i ukupno

Table 3 Planned length of truck forest roads to be built to reach primary road density in 2020 by FA and in total

UŠP FA	Nizinsko područje <i>Lowland areas</i>	Prigorsko-brdsko područje <i>Hilly areas</i>	Gorsko-planinsko područje <i>Mountainous areas</i>	Krško područje <i>Karst areas</i>	Ukupno <i>Total</i>
	km				
VINKOVCI	401,05	–	–	–	401,05
OSIJEK	450,96	95,31	38,03	–	584,30
NAŠICE	7,28	100,61	145,19	–	253,07
POŽEGA	18,43	12,29	438,96	–	469,69
NOVA GRADIŠKA	133,28	358,76	135,77	–	627,81
BJELOVAR	27,38	582,26	480,60	–	1 090,24
KOPRIVNICA	0,00 (+14,21)*	82,34	60,68	–	128,81
ZAGREB	43,99	105,66	234,91	–	384,55
SISAK	208,58	688,28	–	–	896,86
KARLOVAC	0,00 (+9,30)*	447,78	238,78	–	677,27
OGULIN	–	–	670,37	–	670,37
DELNICE	–	–	298,70	59,73	358,43
SENJ	–	–	305,04	245,04	550,08
GOSPIĆ	0,86	–	1 714,32	2 019,62	3 734,80
BUZET	–	–	–	515,80	515,80
SPLIT	–	–	–	6 494,72	6 494,72
UKUPNO – TOTAL	1 268,30	2 473,29	4 761,33	9 334,92	17 837,84



Slika 4. Udio reljefnih područja unutar pojedinoga UŠP

Fig. 4 Share of relief categories in FAs

Tablica 4. Duljina šumskih cesta koje je potrebno izgraditi do dosezanja planirane primarne klasične otvorenosti 2030. godine za pojedinu UŠP i ukupno

Table 4 Planned length of truck forest roads to be built to reach primary road density in 2030th by FA and in total

UŠP FA	Nizinsko područje Lowland areas	Prigorsko-brdsko područje Hilly areas	Gorsko-planinsko područje Mountainous areas	Krško područje Karst areas	Ukupno Total
	km				
VINKOVCI	545,91	–	–	–	545,91
OSIJEK	556,17	130,21	49,83	–	736,21
NAŠICE	62,76	178,42	314,08	–	555,26
POŽEGA	23,75	20,79	678,85	–	723,39
NOVA GRADIŠKA	197,06	525,03	187,34	–	909,42
BEJEOVAR	78,26	935,50	665,58	–	1 679,34
KOPRIVNICA	27,46	241,86	106,94	–	376,26
ZAGREB	124,53	190,11	349,16	–	663,79
SISAK	278,65	955,72	–	–	1 234,37
KARLOVAC	14,94	710,47	330,83	–	1 056,23
OGULIN	–	–	974,19	–	974,19
DELNICE	–	–	736,19	59,73	795,93
SENJ	–	–	546,80	245,04	791,85
GOSPIĆ	1,75	–	2 309,18	2 019,62	4 330,55
BUZET	–	–	–	515,80	515,80
SPLIT	–	–	–	6 494,72	6 494,72
UKUPNO – TOTAL	1 911,23	3 888,11	7 248,97	9 334,92	22 383,22

Podaci pokazuju da, iako smo izišli iz 2011. godine, primarna klasična otvorenost definirana kao planirana te godine nije postignuta ni u jednom UŠP na čitavom području njegova gospodarenja, premda smo kod nekih Uprava šuma Podružnica (Delnice, Koprivnica, Našice) vrlo blizu ostvarenja spomenute otvorenosti za otvorenost planiranu u toj godini. Uprave šuma Podružnice uglavnom su dobro otvorene (u odnosu na minimalnu klasičnu primarnu otvorenost 2011. godine) i u samo nekima je potrebno dodatno otvaranje, dok su u ostalim reljefnim područjima potrebna značajna financijska ulaganja.

Minimalna primarna klasična otvorenost 2011. godine u nizinskom reljefnom području, u usporedbi s postojećom primarnom klasičnom otvorenošću u istom reljefnom području, upućuje na potrebu intenzivnih zahvata izgradnje novih šumskih cesta (poglavito na području UŠP Vinkovci i Osijek). Dobivene rezultate treba promatrati u kontekstu povijesnih smjernica gospodarenja nizinskim šumama u UŠP Vinkovci i Osijek (odsjeci pravilnoga četverokutnoga oblika dimenzija 750 × 750 m s pravilnom mrežom sekundarnih šumskih prometnica »šljukarica« na međusobnoj udaljenosti sredina prohoda (osi) od 37,50 m (Posarić 2007), ali i u smislu novih (danas prihvaćenih) tehnologija pridobivanja drva u hrvatskim nizinskim šumama.

Najveći obujam radova izgradnje novih šumskih cesta, prema planu otvorenosti za 2020. godinu, potrebno je provesti u UŠP Gospić (3 734,80 km), odnosno UŠP Split (6 494,72 km). Analizirajući po reljefnim područjima najviše šumskih cesta treba izgraditi u nizinskom području u UŠP Osijek (450,96 km), u prigorsko-brdskom području u UŠP Sisak (688,28 km), u planinskom području u UŠP Gospić (1 714,32 km) i na području krša (6 494,72 km) u UŠP Split.

Najveći obujam radova izgradnje novih šumskih cesta, prema planu otvorenosti za 2030. godinu, potrebno je provesti u UŠP Gospić (4 330,55 km), odnosno UŠP Split (6 494,72 km). Analizirajući po reljefnim područjima najviše šumskih cesta treba izgraditi u nizinskom području u UŠP Osijek (556,17 km), u prigorsko-brdskom području u UŠP Sisak (955,72 km), u gorsko-planinskom području u UŠP Gospić (2 309,18 km) i na području krša (6 494,72 km) u UŠP Split.

5.3 Izračun cijene izgradnje planirane mreže šumskih cesta 2020. i 2030. godine i predlaganje smjernica daljnjega otvaranja šuma Republike Hrvatske – *Calculation of construction costs of planned forest road network by 2020 and 2030 and guidelines for further opening of Croatian forests*

Temeljem planskih cijena izgradnje šumskih cesta za svako reljefno područje (Anon. 2010); nizinsko

područje (500 000,00 kn/km), prigorsko-brdsko područje (350 000,00 kn/km), gorsko-planinsko područje (250 000,00 kn/km) i krško područje (225 000,00 kn/km) te važećih Tehničkih uvjeta za gospodarske ceste (Šikić i dr. 1989), došlo se do ukupne cijene koštanja svih šumskih cesta koje je potrebno izgraditi za postizanje planirane otvorenosti 2020. i 2030. godine. U budućnosti će se, s približavanjem planiranoj primarnoj otvorenosti, sa stajališta otvaranja šuma i radova pridobivanja drva, otvarati sve zahtjevnija šumska područja. Pretpostavlja se, uz pretpostavku zadržavanja sadašnjih tehničkih uvjeta šumskih cesta, povećanje planske cijene njihove izgradnje. Smanjivanje se budućih troškova izgradnje šumskih cesta, koje će s približavanjem planiranoj primarnoj otvorenosti otvarati sve manja šumska područja, može postići izgradnjom nižih kategorija šumskih cesta s jednostavnijim tehničkim uvjetima primjerenim za prometovanje samo kamiona.

Prema Potočniku (2007) prosječni godišnji troškovi dobro održavanih šumskih cesta u razdoblju njihove amortizacije (od 23 do 30 godina) iznose od 2 do 4 % ukupnih troškova izgradnje šumskih cesta.

Tablica 5. Troškovi izgradnje planirane mreže šumskih prometnica 2020. i 2030. za postojeće tehničke uvjete

Table 5 Construction costs of the planned network of truck forest roads by 2020 and 2030 regarding technical requirements

Uprava šuma Podružnica <i>Forest Administration</i>	Planirano 2020. <i>Planned by 2020</i>	Planirano 2030. <i>Planned by 2030</i>
	kn	
VINKOVCI	200 524 940	272 952 623
OSIJEK	268 345 303	336 116 325
NAŠICE	75 147 978	172 348 463
POŽEGA	123 258 843	188 864 338
NOVA GRADIŠKA	226 148 680	329 122 725
BJELOVAR	337 630 425	532 951 250
KOPRIVNICA	36 884 905	125 114 313
ZAGREB	117 699 358	216 090 363
SISAK	345 189 635	473 826 575
KARLOVAC	211 769 653	338 839 800
OGULIN	167 592 188	243 547 625
DELNICE	88 114 013	197 488 763
SENJ	131 393 958	191 835 395
GOSPIĆ	883 422 645	1 032 585 165
BUZET	116 055 855	116 055 855
SPLIT	1 461 311 775	1 461 311 775
UKUPNO – TOTAL	4 790 490 150	6 229 051 350

Za postizanje je planirane primarne klasične otvorenosti 2020. godine, na razini »Hrvatskih šuma« d.o.o. Zagreb, prema važećim Tehničkim uvjetima, potrebno uložiti 4 790 490 150 kn, a za postizanje planirane primarne klasične otvorenosti 2030. godine treba investirati 6 229 051 350 kn.

Dinamika izgradnje donjega i gornjega ustroja šumskih cesta za razdoblje od 2004. do 2013. godine govori o količini šumskih cesta koje se grade i prema kojima se može odrediti daljnji intenzitet otvaranja. Ukupno je u deset promatranih godina izgrađeno 2 123,48 km donjega i 2 324,91 km gornjega ustroja, odnosno prosječno 212,35 km donjega i 232,49 km gornjega ustroja šumskih cesta godišnje. Najviše se i donjega i gornjega ustroja gradilo 2006. (292,43 km i 374,36 km), a najmanje 2013. godine (110,40 km, odnosno 136,60 km). Iz razlike izgrađenih duljina donjega i gornjega ustroja može se zaključiti da se šumske ceste ne izvode uvijek odjednom, već se postupak izgradnje protegne u dvije ili više godina. Najčešći su razlozi nedostatak financijskih sredstava, nepovoljni vremenski uvjeti krajem godine, tehnologija izgradnje ili je tako jednostavno predviđeno planom izgradnje.

6. Rasprava i zaključna razmatranja

Discussion and conclusions

Značajna različitost hrvatskoga šumarstva sa stajališta orografije terena (nizinsko, prigorsko-brdsko, gorsko-planinsko i krško područje), stanišnih i sastojinskih značajki te načina gospodarenja šumama (regularno, preborno), ali i načina otvaranje šuma pojedinih orografskih područja, odnosno razine otvorenosti šuma, upućuje na potrebu dobrog planiranja u cjelokupnom šumarstvu, pa tako i u pridobivanju drva, odnosno otvaranju šuma. Kvalitetno i pouzdano planiranje, u ovom slučaju šumskih prometnica, jamstvo je racionalizacije (skup postupaka za postizanje ušteda u poslovanju) jednoga dijela šumarske proizvodnje.

Planiranje je šumskih prometnica polazišna, nezaobilazna i vrlo važna faza uspostavljanja optimalne mreže šumskih prometnica na terenu. Planiranje može biti stratejsko, taktičko i operativno. Na razini se stratejskoga planiranja koristi tzv. opisna (deskriptivna, primarna) razredba terena koja opisuje teren prema mjerljivim značajkama i raščlanjuje ga u kategorije neovisno o primijenjenim sustavima pridobivanja drva.

Planirane su vrijednosti primarne klasične otvorenosti 2020. i 2030. godine na razini reljefnih kategorija smjerokazi koje valja slijediti, ali ih se ne treba (i ne smije), u konačnom dizajniranju mreže primarne

šumske prometne infrastrukture, kruto pridržavati. Preporučuje se preispitati i po potrebi iznova definirati vrijednosti planirane primarne klasične otvorenosti po reljefnim područjima, uvažavajući pri tome sve čimbenike koji imaju utjecaj na izračun planirane gustoće primarnoga šumskoga transportnoga sustava.

Na nižoj je, a time i točnijoj razini planiranja (taktičko planiranje), moguće odstupanje od veličina utvrđenih stratejskom razinom, i to u pozitivnim i negativnim, ali prihvatljivim intervalima. Ciljana (najbolja moguća) primarna klasična otvorenost definira se na razini gospodarske jedinice; na ovoj se razini izračunjuju i studije primarnoga otvaranja šuma.

Na ovoj je razini planiranja (operativno planiranje) točnost planiranja mreže šumskih prometnica najveća (na najnižoj se operativnoj razini planiraju konkretne šumske ceste) i najbolje odgovara stvarnomu stanju, ali su za to potrebni najtočniji i potpuni podaci i informacije. Pri operativnom planiranju ponekad ni podjela na gospodarske jedinice nije dovoljno točna jer se unutar iste gospodarske jedinice mogu nalaziti dvije reljefne kategorije ili više njih (vrlo rijetko). Ova razina planiranja pretpostavlja namjensku (funkcionalnu ili sekundarnu) razredbu terena koja povezuje mogućnost primjene mogućih i pogodnih sustava pridobivanja drva s razredima terenskih čimbenika. Sustav je pridobivanja drva određen postupcima, metodom izradbe drva (sortimentna, poludeblovna, deblovna, stablovna) te strojevima i alatima koji se rabe pri eksploataciji određene sječne jedinice. Izbor (korištenje) sredstva privlačenja drva (skider, forvarder, adaptirani poljoprivredni traktor, APT s poluprikolicom, žičara) u svjetlu djelovanja terenskih (reljefnih kategorija) i sastojinskih čimbenika te razine primarne i sekundarne otvorenosti šuma najvažnija je odrednica cijeloga sustava pridobivanja drva.

Analizom postojeće primarne klasične otvorenosti šuma po UŠP i po kategorijama reljefa sa stanjem 31. 12. 2011. godine na istraživanom području zaključuje se da planirana primarna klasična otvorenost nije postignuta na većem dijelu državnih šuma. Štoviše, u dobrom dijelu šuma nije dostignuta čak ni minimalna (2011. godine) potrebna primarna klasična otvorenost; u nizinskom području u 5 od 11 Uprava šuma Podružnica, u prigorsko-brdskom području 8 od 9, u gorsko-planinskom području u 10 od 12 Uprava šuma Podružnica, što značajno (negativno) utječe na kvalitetu, učinkovitost i racionalnost gospodarenja ovim nedovoljno otvorenim šumama.

Habsburg (1970), Sanktjohanser (1971) i Piest (1974) slažu se da je za potrebe iskorištavanja šuma, ovisno o terenskim i sastojinskim značajkama, optimalna gustoća mreže primarne šumske prometne infrastrukture

između 17 i 30 m/ha, dok je za racionalno sveukupno gospodarenje šumama optimalna gustoća primarnoga šumskoga transportnoga sustava nešto veća. Predložene se vrijednosti vrlo dobro podudaraju s planiranom primarnom klasičnom otvorenošću u Hrvatskoj 2020. i 2030. godine, a manja su odstupanja u nizinskim šumama i u šumama na kršu. Preporučenu gustoću šumskoga transportnoga sustava navedene trojice autora, s obzirom na vremenski odmak i razvoj cjelokupnoga sustava pridobivanja drva te sveukupnoga gospodarenja šumskim ekosustavom do kojega je u međuvremenu došlo, treba prihvatiti s rezervom.

Podatak o primarnoj klasičnoj otvorenosti šuma ne govori puno o kvaliteti prostornoga razmještaja sastavnica primarne šumske prometne infrastrukture. Radi boljega razumijevanja stvarne vrijednosti primarne klasične otvorenosti šuma uvijek je nužno primarnu klasičnu otvorenost prikazivati zajedno sa srednjom udaljenosti privlačenja drva, odnosno sa srednjom daljinom pristupa ugroženoj šumskoj površini ako se radi o protupožarnim šumskim cestama na krškom području. Tek se usporednim razmatranjem primarne klasične otvorenosti i srednje udaljenosti privlačenja može steći jasan uvid u stvarne i kvantitativne (količina primarnih šumskih prometnica) i kvalitativne (pros-

torna pokrivenost šumskim prometnicama) parametre primarnoga šumskoga transportnoga sustava.

Prosječnim godišnjim intenzitetom izgradnje šumskih cesta, temeljenom na podacima od 2004. do 2013. godine (uzmemo li u izračun prosječnu izgrađenu duljinu donjega ustroja šumskih cesta od oko 212 km/god.), za postizanje bi planirane otvorenosti 2020. trebale 84 godine, a 2030. čak 106 godina.

Trebalo bi razmisliti o produljenju razdoblja u kojem će se nastojati postići planirane vrijednosti gustoće primarne šumske prometne infrastrukture. Istodobno treba intenzivirati izgradnju šumskih cesta te je sa sadašnjih 212 km/god. podići na bar 600–800 km/god. Time bi se planirane vrijednosti gustoće primarne šumske prometne infrastrukture 2020. godine (računajući s izgradnjom 700 km/god. šumskih cesta) mogle postići za približno 25 godina, a 2030. godine za 32 godine. Pri tome treba uvažavati objektivne financijske, stručne i infrastrukturne kapacitete poduzeća »Hrvatske šume« d.o.o. Zagreb. Osim postojećih izvora financiranja, sredstava tekućega poslovanja i sredstava fonda za općekorisne funkcije šuma (OKFŠ), treba potražiti ostale moguće izvore financiranja svih faza (uvijek prisutnih i povremeno prisutnih) uspostavljanja optimalne mreže primarne

Tablica 6. Struktura primarne šumske prometne infrastrukture u Sloveniji po Upravama šuma Podružnicama; stanje 31. 12. 2001. (ukupna površina šuma 1 142 125 ha)

Table 6 Primary forest traffic infrastructure in Slovenia by FA; as of Dec. 31, 2001 (total forest area - 1 142 125 ha)

Uprava šuma Podružnica <i>Forest Administration</i>	Šumske ceste, km <i>Truck forest roads, km</i>	Produktivna duljina, km <i>Productive length, km</i>		Gustoća, m/ha <i>Road density, m/ha</i>
		Šumske ceste <i>Truck forest roads</i>	Javne ceste <i>Public roads</i>	
Tolmin	1 161	1 038	1 027	18,1
Bled	821	817	203	23,5
Kranj	602	602	1 013	24,7
Ljubljana	1 056	917	1 146	15,8
Postojna	1 188	1 070	428	20,3
Kočevje	1 320	1 199	237	16,6
Novo Mesto	784	693	687	14,8
Brežice	652	591	551	16,8
Celje	797	777	1 256	29,0
Nazarje	563	515	413	22,4
Sloven Gradec	1 656	1 257	569	32,5
Maribor	856	838	2 512	35,4
Murska Sobota	428	413	987	37,9
Sežana	444	395	550	11,8
Ukupno – <i>Total</i>	12 327	11 122	11 580	19,9

šumske prometne infrastrukture npr. fondovi EU-a (Fond za ruralni razvoj) i dr.

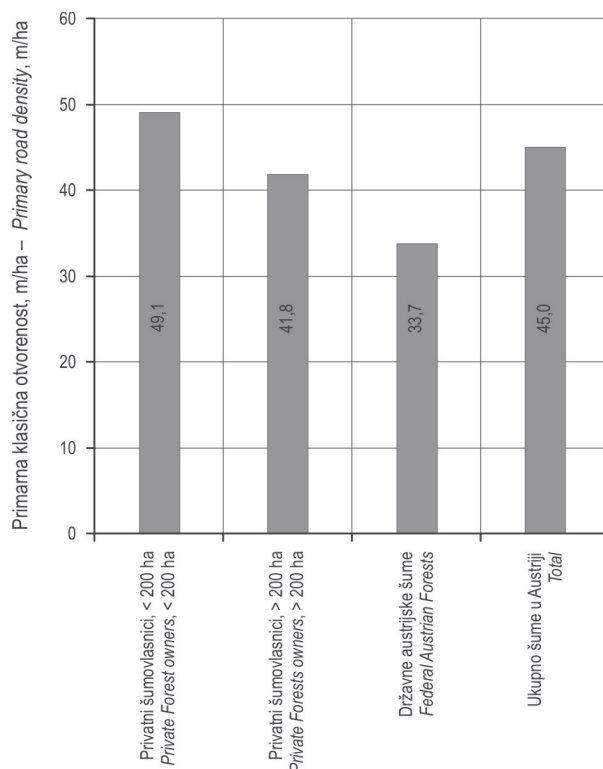
Zamjetna je velika neujednačenost otvorenosti šumskih područja koja pripadaju istoj reljefnoj kategoriji. U budućnosti bi, pri planiranju investiranja u nadogradnju i razvoj primarne šumske prometne infrastrukture trebalo voditi računa o prioritarnom usmjeravanju financijskih sredstava u lošije otvorena šumska područja, sve do uravnoteženja gustoće mreže primarnih šumskih prometnica na razini cjelokupnoga reljefnoga područja.

Uspoređene su vrijednosti primarne klasične otvorenosti (postojeće, ali i planirane 2020. i 2030. godine) s prosječnim vrijednostima postojeće primarne klasične otvorenosti u šumama Republike Austrije (Stampfer 2011, prema Austrian Forest Inventory 1992/96). Radi potpunosti usporedbe daju se temeljne značajke austrijskih šuma i radova pridobivanja drva:

- ⇒ vlasništvo šuma (48,3 % su privatne šume površine posjeda manje od 200 ha, 22,4 % čine privatne šume površine posjeda veće od 200 ha, 15,7 % su državne šume, a 15,6 % su šume ostalih šumovlasnika),
- ⇒ nagib terena na kojem rastu šume (više od 22 % šuma raste na nagnutim terenima nagiba većega od 60 %, a 39 % šuma na terenima nagiba 30–60 %; ostale se šume nalaze na nagibima do 30 %),
- ⇒ posebnosti (način) gospodarenja šumama,
- ⇒ općekorisne funkcije šuma,
- ⇒ sustavi pridobivanja drva (postupci, metoda izradbe, strojevi i alati koji se koriste):
 - ⇒ primijenjeno sredstvo za sječu i izradbu drva (motornom se pilom posiječe i izradi 82,41 % etata, a harvesterom 17,59 %),
 - ⇒ sredstvo za rad pri privlačenju drva (skiderom se privuče 53,1 %, forvarderom 26,8 %, žičarom 14,2 %, ručno 4,6 %, konjima 0,4 % i na ostale načine – npr. helikopterom 0,9 % ukupnoga godišnjega etata).

U manjim šumoposjedima, na kojima se pri privlačenju drva koriste manje suvremeni strojevi (uglavnom ATP i ATP s poluprikolicom), zbog racionalizacije ukupnih troškova pridobivanja drva uspostavljena je gušća mreža primarne šumske prometne infrastrukture.

Postojeća primarna klasična otvorenost u Republici Austriji (u austrijskim državnim šumama) mnogo je veća i od planirane otvorenosti u prigorsko-brdskom i gorsko-planinskom području Republike Hrvatske 2030. godine; naravno još je veća razlika pri usporedbi s planiranom otvorenosti 2020. godine, a najveće su razlike prisutne pri usporedbi s postojećom primarnom



Slika 5. Postojeća primarna klasična otvorenost šuma u Republici Austriji (Stampfer 2011, prema Austrian Forest Inventory 1992/96)

Fig. 5 Existing primary road density in Austria (Stampfer 2011 according to Austrian Forest Inventory 1992/96)

klasičnom otvorenosti. I u hrvatskim državnim šumama postoje gospodarske jedinice čija je primarna klasična otvorenost na razini otvorenosti u austrijskim državnim šumama, ali su one rijetke. Kao primjer navode se tri gospodarske jedinice smještene u prebornim šumama Gorskoga kotara koje su u vlasništvu države, ali kojima gospodari Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. U njima gustoća primarnoga šumskoga transportnoga sustava iznosi između 32 i 36 km/1 000 ha uz prosječne vrijednosti srednje udaljenosti privlačenja drva oko 150 m.

Ciljana gustoća primarne šumske transportne infrastrukture u Sloveniji (Dobre 1990), izračunata za 14 Uprava šuma Podružnica (na temelju izračuna za ukupno 293 gospodarske jedinice), kreće od 22 do 33 m/ha. Godišnje se u prosjeku gradi 0,3 m/ha novih šumskih cesta; navedenim bi se intenzitetom ciljana primarna klasična otvorenost dosegla za oko 30 godina.

Prema Potočniku (2007) postojeća primarna klasična otvorenost u Sloveniji 2001. godine iznosi na razini čitave države prosječno 19,9 m/ha. Za šume koje rastu na nagnutim terenima vrijede sljedeće relacije: pri gustoći primarnih šumskih prometnica do 5 m/ha možemo reći da je šuma neotvorena, gustoća primarne šumske prometne

infrastrukture od 5 do 15 m/ha omogućuje ekstenzivno gospodarenje šumom, normalno gospodarenje šumom ostvaruje se pri gustoći primarne šumske transportne infrastrukture od 15 do 30 m/ha, a pri gustoći primarnih šumskih prometnica većoj od 30 m/ha ispunjeni su zahtjevi za intenzivnim gospodarenjem šumom (na najboljim staništima bonitetima). Isti autor (tablica 6) prikazuje strukturu primarne šumske prometne infrastrukture po Upravama šuma Podružnicama.

7. Literatura – References

- Anon., 1997: Izvješće o problematici gradnje i održavanja šumskih i protupožarnih prometnica i stanju otvorenosti šuma, J. P. Hrvatske šume, Zagreb, 1–11.
- Anon., 2006: Šumskogospodarska osnova područja Republike Hrvatske, za razdoblje 2006–2015.
- Anon., 2011: Izvješće o izgradnji donjeg i gornjeg ustroja šumskih cesta na području HŠ d.o.o. Zagreb za razdoblje 2004–2013.
- Habsburg, U., 1970: Sind Knickschlepper und Forststrassen Gegensätze? Betrachtungen über den Einfluss der Rückemethoden auf den Wegeabstand. Allgemeine Forstzeitung. 1–269.
- Hribernik, B., I. Potočnik, 2006: Sedanje stanje gozdnih cest kot rezultat preteklega gospodarjenja. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 81: 83–89.
- Nevečerel, H., 2010: Dizajniranje teorijskog modela i izrada računalnog programa za projektiranje šumskih prometnica. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–233.
- Nevečerel, H., T. Pentek, D. Pičman, I. Stankić, 2007: Traffic load of forest roads as a criterion for their categorization – GIS analysis. Croatian Journal of Forest Engineering 28(1): 27–38.
- Pentek, T., 2002: Računalni modeli optimizacije mreže šumskih cesta s obzirom na dominantne utjecajne čimbenike. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–271.
- Pentek, T., D. Pičman, H. Nevečerel, 2004: Environmental – ecological component of forest road planning and designing. International scientific conference: Forest constructions and ameliorations in relation to the natural environment, Technical University in Zvolen, Slovakia, 16th–17th September. Proceeding CD/DVD MEDIJ, 94–102.
- Pentek, T., D. Pičman, I. Potočnik, P. Dvorščak, H. Nevečerel, 2005a: Analysis of an existing forest road network. Croatian Journal of Forest Engineering 26(1): 39–50.
- Pentek, T., D. Pičman, H. Nevečerel, 2005b: Planiranje šumskih prometnica – postojeća situacija, determiniranje problema i smjernice budućeg djelovanja. Nova mehanizacija šumarstva 26(1): 55–63.
- Pentek, T., D. Pičman, H. Nevečerel, 2006: Uspostava optimalne mreže šumskih cesta na terenu – smjernice unapređenja pojedine faze rada. Glasnik za šumske pokuse, posebno izdanje 5: 647–663.
- Pentek, T., H. Nevečerel, D. Pičman, T. Poršinsky, 2007a: Forest road network in the Republic of Croatia – Status and perspectives. Croatian Journal of Forest Engineering 28(1): 93–106.
- Pentek, T., H. Nevečerel, T. Poršinsky, D. Horvat, M. Šušnjar, Ž. Zečić, 2007b: Quality planning of forest road network – precondition of building and maintenance cost rationalization – Austro2007/Formec'07 07th–11th October, Vienna – Heiligenkreuz.
- Pentek, T., H. Nevečerel, K. Dasović, T. Poršinsky, M. Šušnjar, I. Potočnik, 2010: Analiza sekundarne otvorenosti šuma gorškog područja kao podloga za odabir duljine uža vitla. Šumarski list 134(5–6): 241–248.
- Pentek, T., T. Poršinsky, 2012: Forest Ecosystems – More Than Just Trees (Šumski ekosustavi – više od samih stabala). Intech web.org, 1–464.
- Piest, K., 1974: Einfüsse auf Walderschliessung und Wegegestaltung. Forsttechnische Informationen 3: 27–30.
- Pičman, D., T. Pentek, 1996: Čimbenici koji utječu na opravdanost izgradnje mreže šumskih prometnica. U: Zaštita šuma i pridobivanje drva, S. Sever (ur.), Šumarski fakultet Zagreb – Šumarski institut Jastrebarsko, Zagreb, 293–300.
- Posarić, D., 2007: Vodič za revirničke poslove. Hrvatske šume d.o.o. Zagreb, 1–225.
- Potočnik, I., 1996b: Mnogonamenska raba gozdnih cest – relativna pomembnost posameznih rab. U: K. Boštjan (ur.). Izzivi gozdne tehnike: zbornik posvetovanja, Gozdarski inštitut Slovenije, Ljubljana, 95–103.
- Potočnik, I., 1998: The multiple use of roads and their classification. U: Proceedings of the Seminar on environmentally sound forest roads and wood transport, Sinaia, Romania, 17–22 June 1996. Food and agriculture organization of the United Nations, Rim, 103–108.
- Potočnik, I., 1998: The environment in planning a forest road network. Proceedings: Environmental Forest Science, Kyoto, Japan, 67–74.
- Potočnik, I., 2003: Forest road formation width as an indicator of human impact on forest environment. Ecology 22(3): 298–304.
- Potočnik I., T. Pentek, D. Pičman, 2005: Impact of traffic characteristics on forest roads due to forest management. Croatian Journal of Forest Engineering 26(1): 51–57.
- Sanktjohanser, L., 1971: Zur Frage der optimalen Wegendichte in Gabirgswaldungen. Forstwissenschaftliches Centralblatt 3: 142–153.
- Šikić D., B. Babić, D. Topolnik, I. Knežević, D. Božičević, Ž. Švabe, I. Piria, S. Sever, 1989: Tehnički uvjeti za gospodarske ceste. Znanstveni savjet za promet Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, 1–78.

Abstract

Strategic Planning of Forest Road Network in Croatia – Analysis of Present Situation as Basis for Future Activities

The optimal forest road network must be established through the following work phases: planning, designing, construction with supervision and maintenance/repair (Pentek et al. 2004). In addition to these obligatory phases of forest traffic infrastructure optimization, another two work phases are included occasionally: reconstruction phase and phase of road removing/restoring.

Good planning is necessary in forestry as well as in timber harvesting and forest opening, considering the diversity of Croatian forestry in terms of terrain orography (lowland, hilly, mountainous and karst region), site and stand characteristics and forest management practices (regular, selective), different patterns of forest road network (road network layout) and different levels of road density. Responsible planning of forest roads is a guarantee of rationalization (a set of procedures to achieve cost reduction) in a part of forestry production.

Due to the level of planning, its complexity, planning period and operation area, planning of forest roads can be divided into three levels:

- ⇒ Planning of forest road network at state level or relief area level (lowland, hilly, mountainous and karst relief region). This is the highest and initial level of planning (global planning – strategic planning),*
- ⇒ Planning of forest road network at management unit level – represents an intermediate level of planning (general planning – tactical planning),*
- ⇒ Planning of a specific forest road – result of tactical planning leads to planning at the lowest level (local planning – operational planning), followed by design phase,*

Planning of forest roads on strategic level (the highest level) must define as follows: relief areas considering measurable terrain and stand characteristics together with forest openness, and its analyses; develop guidelines for appropriate models of primary and secondary forest opening in different relief areas (road layout/pattern); develop guidelines for appropriate and achievable harvesting systems in different relief areas (considering stand characteristics and existing (present) road density).

The objectives of this study are:

- ⇒ classification of Management Units (MU) and Forest Administrations (FA) into relief categories,*
- ⇒ identification of existing primary openness by MU, FA and relief categories,*
- ⇒ calculation of length of the planned forest road network per FAs and relief regions, for achieving planned (targeted) primary road density,*
- ⇒ cost calculation of the planned forest road network, per FAs and relief regions, for achieving planned (targeted) primary road density,*
- ⇒ proposing guidelines for further opening of Croatian forests.*

The study was done in 16 Forest Administrations within the company »Croatian Forests« Ltd. Zagreb.

Table 1 Primary road density for various relief areas in Croatia: minimum necessary (Šikić et al. 1989), minimum in 2011 (Hodić and Jurušić 2011), planned by 2020 (Hodić and Jurušić 2011) and planned by 2030

Relief area	Minimum RD 1990 th	Minimum RD 2011 th	Planned (final) RD	Planned RD 2030 th
	km/1 000 ha			
Low-land area	7.00	10.00	13.00	15.00
Hilly area	12.00	15.00	20.00	25.00
Mountainous area	15.00	20.00	25.00	30.00
Karst area	No data	10.00	15.00	15.00

Planned primary values of openness at the level of relief categories are guidelines to be followed, but in the final design of primary forest road network they should not and must not be rigidly observed. It is recommended to review and, where necessary, redefine values of the planned primary classical openness by relief areas, taking into consideration all the factors that influence the calculation of the planned density of primary forest transportation system.

At the level of tactical planning, possible deviations from the strategic level are possible, in both positive and negative values, but within reasonable intervals.

Based on the analysis of the existing primary road density in the study area (by FAs and by different relief areas) as of December 31, 2011, it is concluded that the planned primary road density has not been achieved in most of the state forests. Moreover, in a majority of state forests not even minimal necessary primary road density has been achieved, which has a negative impact on the quality, efficiency and rationality of managing these insufficiently opened forests.

The time period for achieving the intended values of primary road density should be extended, while simultaneously the construction of forest roads on an annual basis should be intensified. The financial, technical and infrastructural capacities of the company »Croatian Forests« Ltd. Zagreb should also be taken into account. In addition to the existing sources of funding, funding from current operations and funds from non-market forest values, as well as other possible sources of funding (for example EU funds) in all phases (obligatory or not) should be provided in order to create an optimal primary forest road network.

Keywords: truck forest roads, secondary forest roads, road network planning, designing of forest roads, construction of forest roads, road network maintenance

Adresa autorâ – Authors' addresses:

Prof. dr. sc. Tibor Pentek
e-mail: pentek@sumfak.hr
Dr. sc. Hrvoje Nevečerel *
e-mail: hnevecerel@sumfak.hr
Kruno Lepoglavec, dipl. inž. šum.
e-mail: lepoglavec@sumfak.hr
Ivica Papa, dipl. inž. šum.
e-mail: papa@sumfak.hr
Sveučilište u Zagrebu
Šumarski fakultet
Zavod za šumarske tehnike i tehnologije
Svetošimunska 25
10 000 Zagreb
HRVATSKA

Tomislav Ecimović, dipl. inž. građ.
e-mail: tomislav.ecimovic@hrsume.hr
Dr. sc. Željko Tomašić
e-mail: zeljko.tomasic@hrsume.hr
Hrvatske šume d.o.o. Zagreb
Direkcija Zagreb
Vukotinovićeve 2
10 000 Zagreb
HRVATSKA

* Glavni autor – Corresponding author

Primljeno (Received): 17.01.2014.

Prihvaćeno (Accepted): 18.03.2014.

Horizontal and Vertical Alignments of Forest Roads

Vladimir Petković, Dane Marčeta, Igor Potočnik

Abstract – Nacrtak

Forest roads should be in a condition to bear traffic load at every moment. They can endure traffic load only if their dimensions are within the limits prescribed. The dimensions of forest roads depend on: the soil type, category of forest road, and vehicles that use them. In this paper, forest roads constructed on two types of substrates (terrain category 3 and 4; Protić 1970) were observed, and dimensions of horizontal and vertical alignments of forest roads were determined. According to the results of this research, it was concluded that the state of forest roads is satisfactory in terms of traffic. However, it is necessary to pay attention to longitudinal slope of forest road carriageway and cross slope of carriageway in the curves that depend on the longitudinal slope of carriageway and radius of horizontal curve.

Keywords: forest roads, horizontal and vertical alignments, longitudinal slope, cross slope of carriageway

1. Introduction – Uvod

Forest roads make forests permanently accessible, and they change forests for a long time or forever. Construction of forest roads is the biggest project in the forest and allows for sustainable management of this natural resource. Forest roads are arteries in a modern forest, but also leave scars on the forest soil (landscape).

Forest roads are planned, designed, constructed and maintained facilities in the forest. The forest road is a formation in the forest, and it consists of:

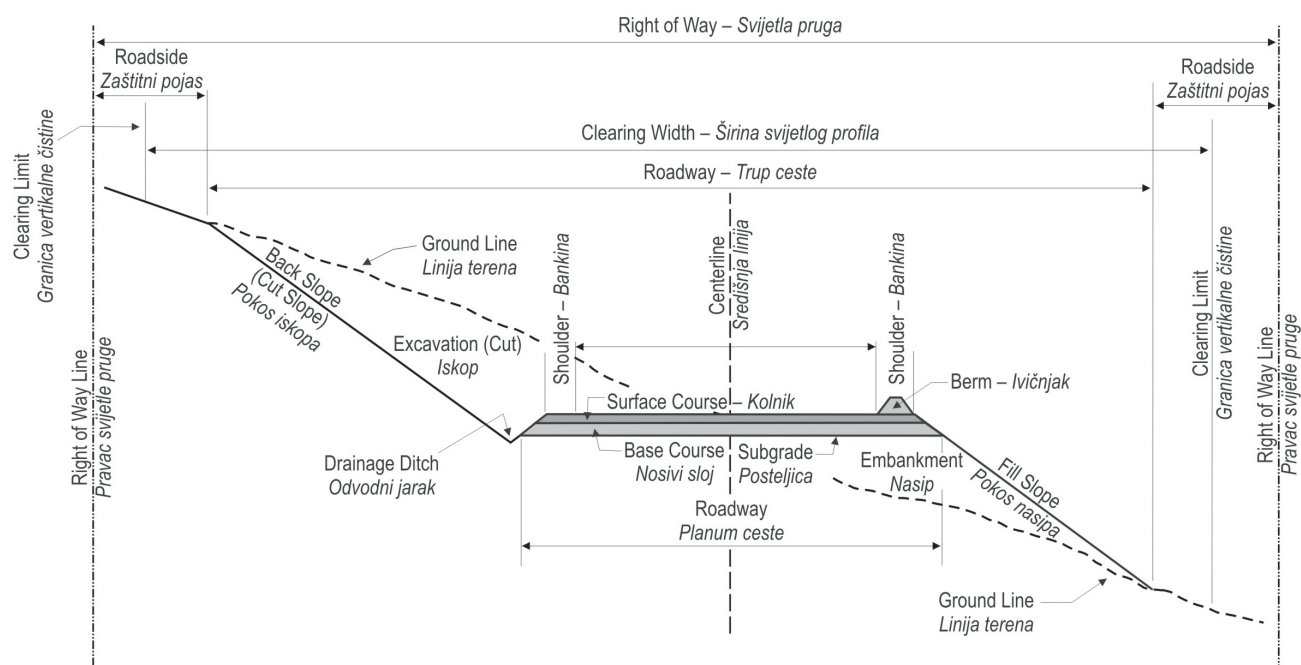
- ⇒ longitudinal profile or a vertical section in the road centerline;
- ⇒ cross profile or cross section perpendicular to road centerline and;
- ⇒ layout of forest road (Jeličić 1983).

The basic element of longitudinal profile is the roadway longitudinal slope (%). It depends on many factors: type of forest road, type of vehicle that will be used, transport direction, soil on which a road is built, allocation of forest road, traffic load, rainfall, etc. Cross section is made in the station points of the forest road center line. Cross section of forest roads consists of: roadway, cut and fill slopes, shoulders, carriageway and drainage ditch.

Roadway consists of the carriageway width and the width of two shoulders. Forest roads are single-lane roads with minimum carriageway width of 3 m (Jeličić 1983). The cross slope of forest roads carriageway is one of the major elements of surface drainage, particularly in the sections of forest roads with small longitudinal slope. The value of the cross slope depends on: the forest road longitudinal slope, elements of forest road layout, radius of horizontal curves, type of material a carriageway is constructed of, surface roughness, as well as other factors. The type of drainage ditches depends on the type of soil. The slope of cut and fill slopes depends on the type of soil and height of slopes.

The elements of a forest road layout are lines and curves. The line is a part of forest road in where a vehicle does not change its driving direction. The curve is a part of forest road where a vehicle changes its driving direction for the central angle of a circular curve. Radius is the main element of the curve. The curve radius (R) should be larger from the perspective of driving safety and higher driving speed; and however, the cost of the road construction should also be taken into account.

Standard tree clearance width shall be a minimum of 15 m. Formation (road foundation) is the area between the usable limits of earthworks. Formation (roadway) width can be between 4 and 7 m. Carriage-

**Fig. 1** Typical road section**Slika 1.** Normalni poprečni profil

way width ranges from 3.4 to 4 m. Cross slope of the carriageway should be from 4 to 6.7%. Longitudinal slope of the forest road surface ranges from 1 to 10% in the straight sections and 8.3% in the forest road curves. The minimum radius of forest road curves is 20 m and naturally a larger radius should be used where possible considering physical and economic factors (Rayan et al. 2004).

The minimum longitudinal slope of forest road surface is 2%, and maximum longitudinal slope is 12% on compacted rock-surfaced roads. The minimum radius of horizontal curves is 50–60 feet (15–18 m) at the lowest vehicle speeds. Roadway (subgrade) width ranges from 14 to 16 feet (4–5 m), and carriageway (road surface) width is 12 feet (3.7 m). Carriageway widening (off-tracking) on curves is a function of the curve radius, curve deflection angle, and vehicle configuration. Log truck off-tracking on 60 foot (18 m) horizontal curve radius depends on the deflection angle (30–160 degrees) and can be 2–5 feet (0.6–1.5 m) (Kramer 2001).

Longitudinal slope of forest road surface ranges from 12% to 15%. Carriageway width is 3.5–4 m for single-lane roads and 5–7 m for double-lane roads. The minimum radius of horizontal curves is 15 m. The inclination of cut slopes is 3/4:1 (0.75:1), and of fill slopes 1 1/2:1 (1.5:1). Cross section slope of the carriage-

way ranges from 3 to 5% for longitudinal slope of forest road surface (Keller and Sherar 2003).

When determining the road design standard, the following factors are evaluated:

- ⇒ volume of traffic that will use the road at any given period of time and that will be expected to use the road over its duration;
- ⇒ type of vehicles that will use the road;
- ⇒ topography and soils where the road will be located;
- ⇒ duration of use (permanent, temporary, seasonal, or year around);
- ⇒ public use of the road;
- ⇒ sensitive natural resources that may be affected by the road;
- ⇒ future road maintenance requirements.

Design Standards for Collectors are permanent roads that access multiple logging units and may receive moderate use by the public during some parts of the year. Roadway width is 16 to 20 feet (5–6 m), and carriageway width should be 12–16 feet (3.5–5 m). Road carriageway is made of crushed rock. The minimum radius of the curve is 60 feet (18 m) plus curve widening. The longitudinal slope of the forest road surface is usually under 18% (12% max) (Forest Road Design 2006).

The studies done in 2009 in the Forest Management unit Prosara, on the example of deep soils (terrain category 3; Protić 1970), in the hilly area, showed that the average carriageway width was 3 m, average cross slope of the carriageway was 2.7%, and the longitudinal slope of the carriageway was 4.3% (Petković 2010).

The research was intended to indicate the state of forest roads from the aspect of dimensions of their horizontal and vertical alignments. It should also point to the problem of the lack of an official manual for regulating this part of the forestry profession.

2. Aim of research – *Cilj istraživanja*

This paper should determine the dimensions of forest road elements in the chosen Forest Management Units of »Prosara« and »Potoci–Resanovača«. After that, the obtained dimensions of forest roads should be compared between the selected sections of the same forest management unit and the two selected units. These units have different types of geological origin and soils. There are deep and soft soils in the Forest Management unit »Prosara« (hilly area), and shallow and hard soils in the Forest Management unit »Potoci–Resanovača« (mountainous area). The results of the research will be compared to the dimensions of forest roads determined by other authors.

3. Object of research – *Objekt istraživanja*

3.1 Forest Management Unit »Prosara«

Gospodarska jedinica »Prosara«

This management unit is located in the mountain »Prosara« in the north of the Republic of Srpska and Bosnia and Herzegovina in the area of the municipality of Gradiška. It is managed by the Forest Administration »Gradiška«. The average altitude of this management unit ranges from 103 to 357 m, and hence this is a hilly area. Geological substrate is made of silicate rocks. On this geological substrate, deep and acid soils are developed and their depth is more than 70 cm (terrain category 3; Protić 1970). Forest and forest land cover an area of 3 980 ha. High productive forests with natural regeneration cover the biggest area of 3 449.4 ha. Those are the forests of European beech and sessile oak. Coppice forests cover an area of 169.6 ha, and forest plantations cover an area of 279.9 ha. Areas suitable for forestation cover 74.4 ha, and areas unsuitable for forestation cover 7.3 ha. The length of public roads is 4 km, and the length of forest roads is 34.9 km. The average road density is 7.8 m/ha (Javno preduzeće šumarstva »Šume Republike Srpske« a.d. Sokolac 2013).

3.2 Forest Management Unit

»Potoci – Resanovača«

Gospodarska jedinica »Potoci–Resanovača«

This management unit is managed by the Forest Administration »Ribnik«. It is located in the northern part of the Republic of Srpska in the area of the municipality of Ribnik. The altitude of this management unit ranges from 695 m to 1 620 m, and hence this is a mountainous area. Geological substrate is made of limestone or dolomite. On this foundation, shallow and depth limestone soils are developed and their depth ranges from 30 to 75 cm with stones and rocks on the surface (terrain category 4; Protić 1970). Total forest area is 5 437.6 ha. High productive forests with natural regeneration cover an area of 5 161.6 ha. Those are the forests of European beech, Norway spruce and European silver fir. Coppice forests cover an area of 56.9 ha, and forest plantations cover an area of 62.4 ha. The total length of roads is 85.75 km. Forest road density is 13.9 m/ha (Javno preduzeće šumarstva »Šume Republike Srpske« a.d. Sokolac 2000).

4. Methods – *Metode rada*

4.1 Collecting data on the field – *Prikupljanje terenskih podataka*

Forest road network was recorded by GPS GARMIN GPSMAP 62st. It was divided in sections of 300 m. By the method of random selection, 5 sections of forest roads were selected in the Forest Management Unit »Prosara« and »Potoci–Resanovača«. Then, the selected sections were found on the field by GPS. These sections were marked on the field and points were set up for each 10 m, and three points were selected in the curves, the beginning of the curve (PK), the middle of the curve (SK) and the end of the curve (KK). The following parameters were measured in each point: roadway width B , carriageway width b , cross slope of carriageway i_p (%), slope of cut and fill slopes 1:u and 1:n, ditch depth and width, and distance between tree crowns (clearing width). Longitudinal slope of the road I (%) was measured between each point. Width and distance between the points were measured by the measuring tape. The slope was measured by the inclinometer.

In each curve, the beginning of the curve (PK) was measured as well as the middle of the curve (SK) and the end of the curve (KK). Then the distance was measured from the beginning of the curve (PK) to the end of the curve (KK). Half of this distance was the value x , and the distance from this point to the middle of the

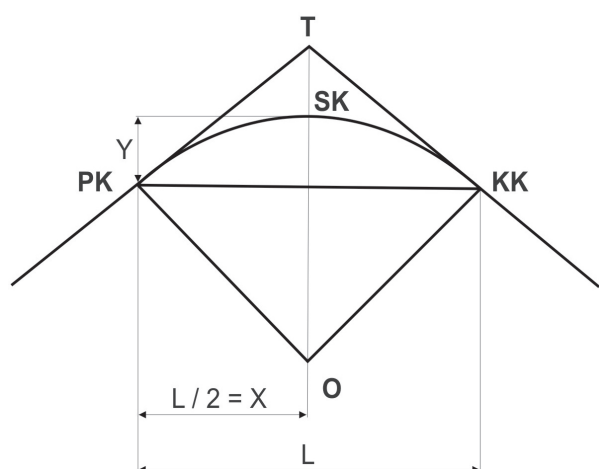


Fig. 2 Measurements of x and y value

Slika 2. Postupak izmjere veličina x i y na terenu

curve (SK) was the value y (Fig. 2). The radius of the curve is calculated by the formula:

$$R = x^2/2y$$

Legend:

R – radius of the curve m,

x – value m, half of the distance from the beginning to the end of a curve,

y – value m.

In 5 selected sections of forest roads, 107 cross sections were set up in Forest Management Unit »Prosa-ra«, and 83 cross sections in Forest Management Unit »Potoci–Resanovača«, where the above mentioned measurements were carried out.

4.2 Processing of collected data – Obrada prikupljenih podataka

The collected data were processed by Microsoft Excel, and maximum, average and minimum values of horizontal and vertical alignments of forest roads were obtained. The results are presented in figures below. These results are compared to domestic and international regulations concerning forest roads. Hence, some conclusions should be made about the current state of forest roads, and measures should be recommended for improving the state of forest roads.

5. Results – Rezultati

The average roadway width of forest roads in »Prosa-ra« is 4.3 m and the carriageway width is 2.7 m. The average cross slope of the carriageway i_p is 3.3%, and the road longitudinal slope is 6.2%. The road longitudinal slope of some sections of forest roads is 14%. The

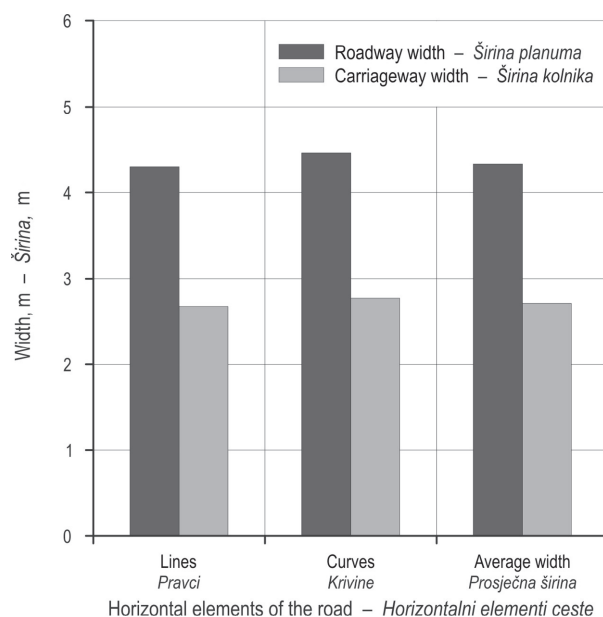


Fig. 3 Average width of roadway and carriageway of forest roads

Slika 3. Prosječna širina planuma i kolnika šumskih cesta

maximum allowed longitudinal slope on deep soils of a road is 8% (10%) and it should be in the transport direction (Jeličić 1983). The average cut slope is 1:1.4 and fill slope is 1:2.2. The selected sections of forest roads are divided into curves and lines and 21 curves

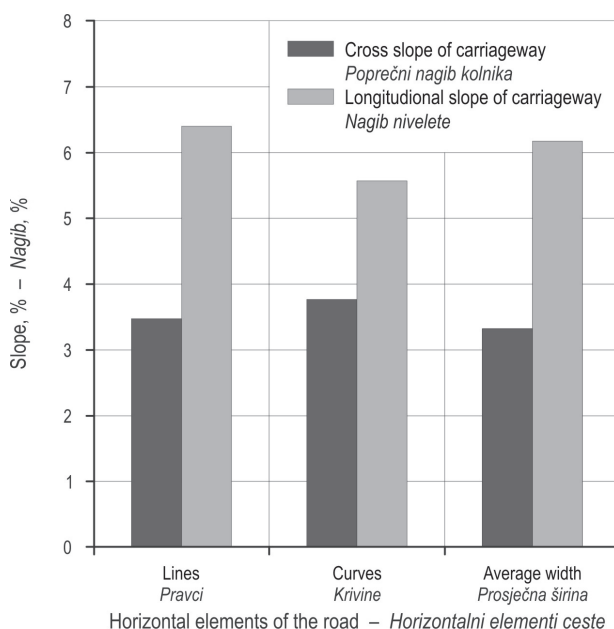


Fig. 4 Cross and longitudinal slope of forest road carriageway

Slika 4. Poprečni nagib kolnika i uzdužni nagib nivelete šumskih cesta

are located. The average radius R is 110 m, and minimum radius of a curve is 15 m. Six curves of forest roads have the radius less than 60 m, and the carriageway widening on the curve (off tracking) should be calculated.

The average width of roadway and width of carriageway is larger on the curves than on the lines of forest roads. This is normal because of carriageway widening on the curves whose radius is less than 60 m (Fig. 3).

Longitudinal slope of forest road carriageway is higher on the lines than on the curves. The cross slope of the carriageway is higher on the curves than on the lines of forest roads (Fig. 4). Longitudinal road slope and cross slope of the road carriageway are inverse; the higher the road longitudinal slope, the lower the carriageway cross slope. On the curves, the carriageway cross slope depends on the radius and road longitudinal slope. The radius and cross slope of the carriageway on the curves are inverse. However, on the curves of forest roads in Forest Management Unit »Prosara«, the carriageway cross slope increases with the increase of the radius of the curve (Fig. 5).

Randomly selected sections are 14, 29, 36 and 50 years old, and on each section the distance between the crown of the trees above the forest roads or clearing width is determined. The average distance be-

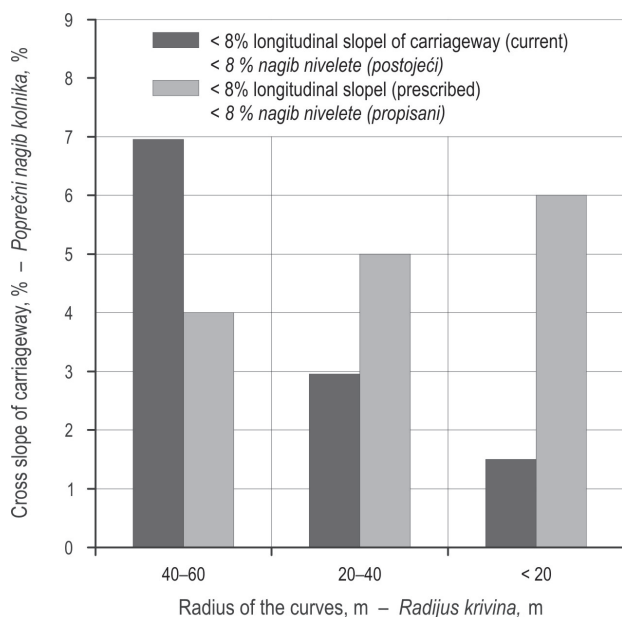


Fig. 5 Dependence of the carriageway cross slope on radius and carriageway longitudinal slope of the curve

Slika 5. Utjecaj poprečnog nagiba kolnika na radijus horizontalnih krivina i uzdužni nagib nivelete

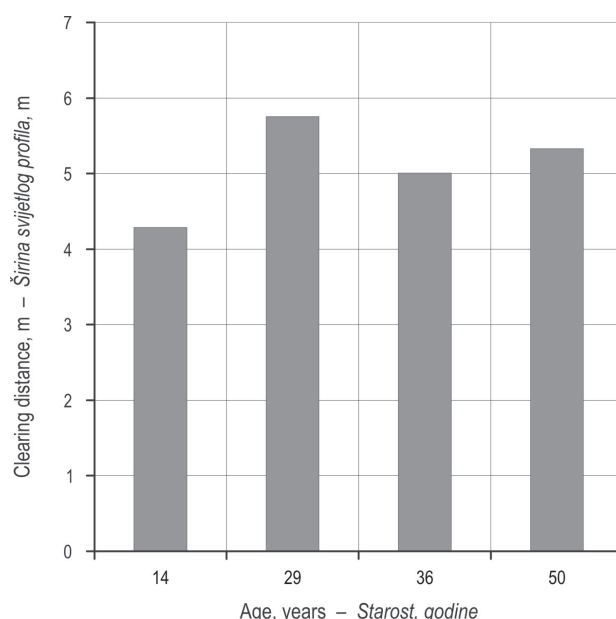


Fig. 6 Dependence of clearing width on the age of forest roads

Slika 6. Ovisnost širine svijetloga profila o starosti šumskih cesta

tween crowns is 5.6 m. This width should be reduced over time, but this is not the case with forest roads in Forest Management Unit »Prosara«. However, the current distance between the crowns is a result of forest roads maintenance, more precisely of removal of the fallen trees over the road due to bad weather conditions and trees fallen by the roadside (Fig. 6).

Forest roads are constructed on terrain category 4 (Protić 1970) in Forest Management Unit »Potoci-Resanovača«. The average roadway width is 4.5 m, and carriageway width is 3 m. The average forest road longitudinal slope is 2.8%, and the carriageway cross slope is 3%. The maximum measured longitudinal slope of a forest road is 8%. The maximum allowed longitudinal slope of a forest road is 14% in this terrain category. The average slope of the cut slope is 1:1.7, and of fill slope 1:0.9. The selected sections of forest roads are divided into the curves and lines, and 21 curves are located. The average radius (R) of curves is 140 m, and minimum radius is 20 m. The roadway width and the carriageway width of forest roads are larger on the curves than on the lines because of the carriageway widening on the curves, whose radius is less than 60 m (Fig. 7).

The forest road longitudinal slope and cross slope of the carriageway are higher on the curves than on the lines. They are higher than the average value of road longitudinal slope and cross slope of the carriageway (Fig. 8).

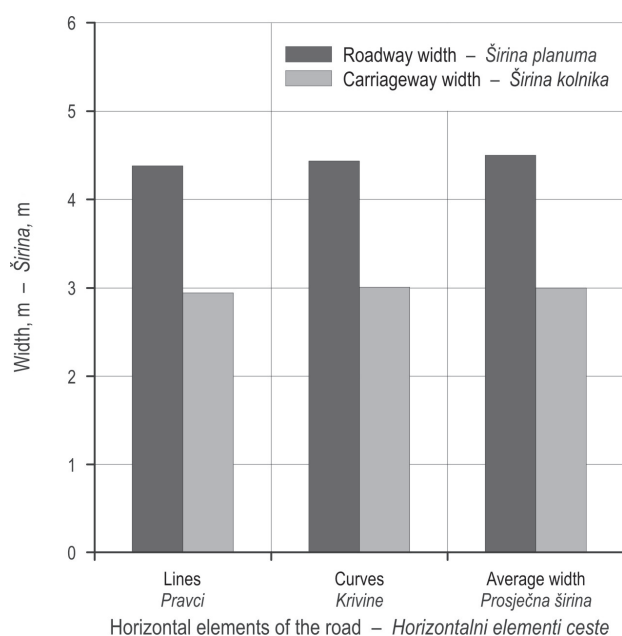


Fig. 7 Width of the forest road roadway and carriageway

Slika 7. Širina planuma i kolnika šumskih cesta

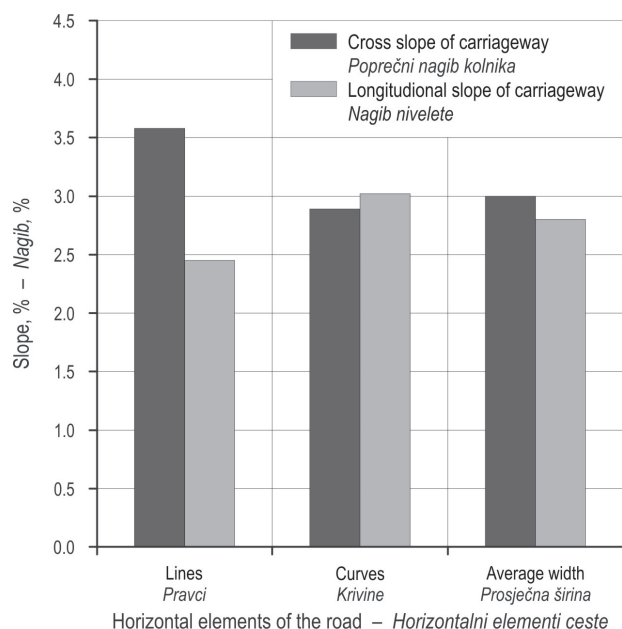


Fig. 8 Cross and longitudinal slope of the forest road carriageway

Slika 8. Poprečni nagib kolnika i uzdužni nagib nivelete šumskih cesta

The carriageway cross slope and radius are not inverse on the curves of forest roads of »Potoci–Resanovča«. The value of the cross slope is lower than the one prescribed by Jeličić (1983) (Fig. 9). The carriage-

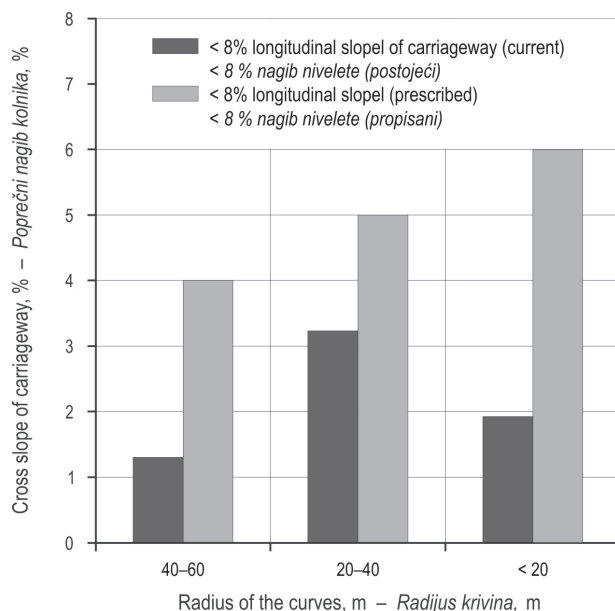


Fig. 9 Dependence of the cross slope of curve carriageway on the radius and longitudinal slope of the curve

Slika 9. Utjecaj poprečnoga nagiba kolnika u krivinama na radijus horizontalnih krivina i uzdužni nagib

way cross slope is 3.1% on the curves whose radius is larger than 60 m.

The ditches are full with stones, earth, leaves and other parts of trees and they cannot absorb the rainfall from the road. There is no clear border between the surface of forest roads and ditches.

Data on the age of forest roads in »Potoci–Resanovča« are unknown, and therefore no conclusion can be made about the influence of the age on the clearing width. According to information obtained by the Forest Administration of »Ribnik«, in this area most forest roads were built in the 70s and 80s of the last century. The average clearing width of these forest roads is 4.3 m. Apart from the age, clearing width above forest roads also depends on: terrain and site conditions, frequency of maintenance of forest roads, distance between forest road sections and public road, and traffic load. According to Fig. 10, the distance between tree crowns above forest roads is smaller in the sections that are further away from the public roads.

6. Discussion and conclusions – Rasprava i zaključci

The results of this research show that the average width of the roadway and carriageway is larger on harder than on softer soil. The roadway width should

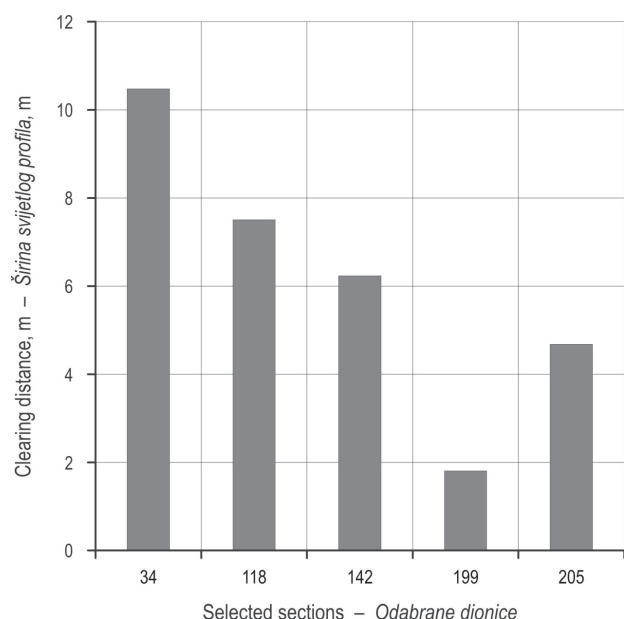


Fig. 10 Dependence of clearing width on the serial number of selected section, i.e. its distance from the starting point of forest road

Slika 10. Utjecaj širine svijetloga profila na redni broj odabrane dionice, odnosno na udaljenost dionice od početka šumske ceste

be 4 to 6 m, and it means that the average width of 4.3 to 4.5 m in »Prosara« and »Potoci–Resanovača« meets the set standards. According to Pičman (2007), roadway width of forest roads should be 5 to 7 m. Roadway width can be 4 to 7 m, according to Ryan et al. (2004), or 4 to 5 m (Kramer 2001), and 5 to 6 m (Forest Road Design 2006). Roadway width of forest roads should be larger on deep than shallow soils, due to smaller capacity of deep soils.

The average carriageway width of forest roads is 2.7 m on deep soils, and 3 m on shallow soils. The carriageway width of forest roads should range from 2.8 to 3.4 m (Potočnik, 2004). Butulija (2000) recommended the carriageway width of 3 m. According to Pičman, the carriageway width of forest roads should be 3.5 to 5 m (Pičman 2007), and according to Rynet 3.4 to 4 m (Ryan et al. 2004), 3.7 m according to Kramer (2001), 3.5 to 7 m according to Keller and Sherar (2003) and 3.5 to 5 m (Forest Road Design 2006). Therefore, the average carriageway width of the selected sections of forest road is acceptable, but again it should be stressed that it should be larger on deep soils in order to distribute the traffic load over a larger area.

From the point of maintenance, the ideal forest road longitudinal slope is from 2 to 4%. The maximum allowed downhill slope in the transport direction is from 8 to 12%, maximum 14%. The maximum allowed

uphill slope in the transport direction ranges from 3 to 5%, maximum 7%. The maximum longitudinal slope of forest roads on deep soils is 8%, maximum 10%. The maximum allowed longitudinal slope of forest roads can range up to 12%, maximum 14% on shallow and hard substrates (Potočnik 2004). The maximum longitudinal slope of forest roads ranges from 8% to 10%, maximum 12% in extreme cases (Pičman 2007). Longitudinal slope of forest road surface should be from 1 to 10% on straight sections and 8.3% on the curves of forest roads (Ryan et al. 2004). The maximum longitudinal slope of road surface is 12% according to Kramer (2001). Keller and Sherar (2003) recommended the longitudinal slope of forest road surface from 12% to maximum 15%. The maximum longitudinal slope of forest road surface should be 12% for collector roads (Forest Road Design 2006). The average longitudinal slope of forest roads in Forest Management Unit »Prosara« is 6% on deep soils, while the maximum measured amounts to 14%. These longitudinal slopes are problematic because of the erosion risk on forest road surface. In Forest Management Unit »Potoci–Resanovača« the average longitudinal slope of forest roads surface is 3% on shallow soils, and the highest measured is 8%. This longitudinal slope is in accordance with the applicable standards and can be considered as ideal from the point of maintenance of forest roads.

On the lines and curves with the radius exceeding 60 m, the cross slope of macadam carriageway is about 3 to 4% (Jeličić 1983, Aćimovski 1997, Butulija 2000). One-sided cross slope of macadam carriageway should range from 2 to 4%. Depending on the longitudinal slope of the forest road, the cross slope of roads with macadam carriageway can be between 3 and 6% (Potočnik 2004). The cross slope of the carriageway is constructed as one-sided and two-sided. On the lines, the carriageway is constructed with two-side cross slope, while on the curves the carriageway is constructed with one-side cross slope directed to the middle of the curves. It is applied on the lines to facilitate the maintenance of the road carriageway. On the curves of radius less than 60 m, the value of the cross slope ranges from 3 to 6% (Jeličić 1983, Aćimovski, 1997, Butulija, 2000). The cross slope of the carriageway on the curves should range from 5 to 7% (Potočnik 2004). The carriageway cross slope should be between 2 and 3% according to FAO (1998). The cross slope on the lines of forest road carriageway should be from 3 to 4%. Cross slope on the curves of forest road carriageway depends on the radius and ranges from 3 to 6% (Pičman 2007). The carriageway cross slope should range between 3 and 5% on longitudinal slope of forest

road surface or less than 10% (Keller and Sherar 2003). The average cross slope of the forest road carriageway in Forest Management Units »Prosara« and »Potoci–Resanovača« is about 3%. The carriageway cross slope on the curves of radius less than 60 m is not inversely related to the radius. On average, the carriageway cross slope on curves is about 3% in Forest Management Unit »Potoci–Resanovača«, and 4% in Forest Management Unit »Prosara«. The cross slope of forest road carriageway in these two Forest Management Units is in accordance with standards, and in the curves it should be aligned with the radius of the curve.

The average radius of horizontal curves of forest roads is from 110 to 140 m in Forest Management Units »Prosara« and »Potoci–Resanovača«. The minimum radiuses range from 15 m in Forest Management Unit »Prosara« to 20 m in Forest Management Unit »Potoci–Resanovača«. The minimum radius of the curves is 8 m for 12 m long trucks and 12 m for 18 m long trucks (Aćimovski 1997). The minimum radius of horizontal curves is 20 m (Butulija 2000). The minimum radius of horizontal curves depending on the possibility of turning of typical vehicles (truck, trailer, etc.) should be 15 m (Potočnik 2004). The minimum radius of horizontal curves is 20 m according to Ryan et al. (2004). Kramer (2001) recommended the minimum radius of horizontal curves of 50 to 60 feet or 15 to 18 m. According to Keller and Sherar (2003), the minimum radius of horizontal curves should be 15 m. The minimum radius of curves is 60 feet (18 m) according to Forest Road Design (2006). Thus, the minimum radiuses of curves of forest roads are in accordance with the recommendations of the above mentioned authors.

The slope of cut and fill slopes depends on: category of soils, material used to build levees, slope height, terrain cross slope and other factors. The average slope of cut slopes is 1:1.4, and of fill slope 1:2.2 on deep soils of Forest Management Unit »Prosara«. The average slope of cut slopes is 1:1.7, and of fill slope 1:0.9 on shallow soils of Forest Management Unit »Potoci–Resanovača«. The slope of cut and fill slopes for an ordinary ground should be 1:1 or 1:1.5, and for compacted soils with stones 2:1, 1:1.3 and 1:1.5, respectively (Jeličić 1983). According to Aćimovski (1997), the slope of cut and fill slopes for ordinary and sandy soils are 1:1 and 1:1.5. The slope of cut slopes of rocky substrates should be 1:0, 1:0.2, 1:0.5 or 1:0.75, and of fill slopes 1:1 or 1:1.25. The slope of cut slopes is 3/4:1 (0.75:1), and of fill slopes 1 1/2:1 (1.5:1) (Keller and Sherar 2003). According to this, the slope of cut and fill slopes in the observed sections of forest roads are

milder than prescribed except the slope of fill slopes on shallow soil in Forest Management Unit »Potoci–Resanovača«.

Finally, it can be concluded that the dimensions of horizontal and vertical alignments of forest roads are in accordance with the standards for forest roads, and that they are able to carry the traffic load. Further research should be focused on the synchronization between the cross slope of the carriageway on the curves and the radius of the curves. Then attention should be directed to the prevention of erosion of the forest road carriageway in Forest Management Unit »Prosara« as much too often the forest road surface has an extremely high longitudinal slope. The roadway and carriageway width of forest roads on deep soils should be larger than on shallow soils in order to distribute traffic load over a larger area. However, the construction of such forest roads and greater care for the environment require more financial resources.

These results show the state of technical characteristics of forest roads in these two management units as well as in the whole Republic of Srpska. There are no significant differences between standards for forest roads in the mentioned references. These recommended standards must be used for making the Manual for planning, design, construction and maintenance of forest roads at the national level.

7. References – *Literatura*

- Aćimovski, R., 1997: Šumska transportna sredstva. Ministarstvo za prosvetu Vlade Republike Srbije, Beograd.
- Anon., 2009: Pravilnik o izradi projekta za šumske komunikacije. Službeni glasnik Republike Srpske, br. 60/09.
- Anon., 2000: Javno preduzeće šumarstva ŠUME REPUBLIKE SRPSKE. Šumsko privredna osnova za Ključko šumsko privredno područje Sokolac.
- Anon., 2012: Javno preduzeće šumarstva ŠUME REPUBLIKE SRPSKE. Šumsko privredna osnova za Posavsko šumsko privredno područje. Sokolac.
- Butulija, S., 2000: Projektovanje šumskih puteva direktnom metodom (praktikum). Srbija šume – Institut za šumarstvo, Beograd.
- FAO, 1998: Manual for the Planning. Design and Construction of Forest Roads in Steep Terrain.
- Forest Road Design, 2006. Available on <http://www.oregon.gov/odf/state_forests/docs/management/roads_manual/rmsec3-design.pdf> (Pristupljeno 17. 3. 2014.)
- Jeličić, V., 1983: Šumske ceste i putevi. Samoupravna interesna zajednica odgoja i usmjerenog obrazovanja šumarstva i drvne industrije SR Hrvatska, Zagreb.

Keller, G., Sherar, J., 2003: Low-volume roads engineering. Best management practices field guide, US Agency for International Development (USA ID).

Kramer, W. B., 2001: Forest road contracting, construction, and maintenance for small forest woodland owners. Research contribution 35, Oregon State University, College of Forestry, Corvallis.

Petković, V., 2010: Oštećenja i sanacija šumskih puteva na području Gazdinske jedinice »Prosara«. Šumska uprava »Podgradci«, Master rad, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, Beograd.

Pičman, D., 2007: Šumske prometnice. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Potočnik, I., 2004: Šumske komunikacije. Predavanja, Univerzitet u Banjoj Luci, Šumarski fakultet, Banja Luka.

Protić, Đ., 1970: Prosečne građevinske mašinske norme, Nišogradnja, GN 200. Građevinska knjiga, Beograd.

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

Sažetak

Horizontalni i vertikalni konstruktivni elementi šumskih cesta

Šumske ceste trebaju biti u takvu stanju da u svakom trenutku mogu prihvatiti prometno opterećenje vozila koja se njima kreću. Da bi izdržale prometno opterećenje, dimenzije šumskih cesta moraju biti u granicama propisa. Dimenzije konstruktivnih elemenata šumskih cesta ovise o brojnim čimbenicima, a neki od najznačajnijih jesu: kategorija terena (građevinska kategorija materijala) na kojem su šumske ceste izgrađene, primarna funkcija šumske ceste, odgovarajuće vozilo koje će šumskom cestom prometovati i sl. U radu su istražene šumske ceste izgrađene na različitim kategorijama terena (III. i IV. kategorija materijala prema Protiću 1970) te su utvrđene dimenzije konstruktivnih elemenata šumskih cesta u horizontalnom i u vertikalnom pogledu. Zaključuje se da istražene šumske ceste mogu prihvatiti prometno opterećenje, ali u budućnosti treba usmjeriti pozornost na najveće nagibe nivelete te na poprečni nagib kolnika u horizontalnim krivinama (koji ovisi o nagibu nivelete i radijusu horizontalne krivine).

Ključne riječi: šumske ceste, horizontalni i vertikalni konstruktivni elementi, uzdužni nagib nivelete, poprečni nagib kolnika

Authors' address – Adresa autorâ:

Vladimir Petković, MSc.*

e-mail: petkovicv1603@yahoo.com

Dane Marčeta, MSc.

e-mail: danemarceta@gmail.com

University of Banja Luka, Faculty of Forestry

Department for Using of Forest Resources

Stjep Stepanovića 75a

78000 Banja Luka

BOSNIA AND HERZEGOVINA

Prof. Igor Potočnik, PhD.

e-mail: igor.potocnik@bf.uni-lj.si

Biotechnical Faculty

Department of forestry and renewable forest resources

Večna pot 83

1000 Ljubljana

SLOVENIA

* Corresponding author – Glavni autor

Received (Primljeno): March 8, 2014

Accepted (Prihvaćeno): April 8, 2014

Potrošnja goriva i emisija stakleničkih plinova pri kamionskom prijevozu drva u hrvatskom šumarstvu

Marko Zorić, Marijan Šušnjar, Zdravko Pandur, Kristijan Mihaljević

Sažetak – Abstract

Daljinski je prijevoz drva kamionima druga polufaza prijevoza drva. Zbog svojih značajki, cikličnoga rada, velikoga udjela vožnje neopterećenoga vozila, visoke nabavne cijene vozila, prevezene male količine jeftine robe visoka cijena goriva, velika potrošnja goriva, daljinski prijevoz drva kamionima prate iznimno visoki troškovi. Osim visoke cijene daljinskoga prijevoza drva kamionima značajno je i njegovo veliko opterećenje okoliša emisijom stakleničkih plinova te niska energetska učinkovitost.

Cilj je ovoga rada napraviti analizu podataka o ukupnim prevezenim količinama drva, te dvije jedinične potrošnje goriva po jedinici prevezenoga tereta te po tona kilometru (t km), koja je najbolji pokazatelj energetske učinkovitosti prijevoza, te analizu podataka o jediničnoj emisiji stakleničkih plinova kamiona koji su u vlasništvu trgovačkoga društva »Hrvatske šume« d.o.o Zagreb za 2012. godinu. Osim provedene analize dobiveni će se rezultati usporediti s rezultatima istraživanja potrošnje goriva u daljinskom prijevozu drva u Hrvatskoj koje navodi Anić i dr. (1996).

Gljučne riječi: daljinski prijevoz drva kamionima, kamionski skup, potrošnja goriva, emisija stakleničkih plinova

1. Uvod – Introduction

U Hrvatskoj se između dvaju svjetskih ratova počinju rabiti šumski kamioni. Krpan (1991) navodi da se u Hrvatskoj 75 % drva prevozi kamionskim skupovima, dok se ostatak prevozi željeznicom. Horvat i Šušnjar (2002) daju podatak da je udio prijevoza drva kamionskim skupovima 85 %. Danas se u Hrvatskoj gotovo svi drveni sortimenti prevoze kamionskim skupovima. Razlozi tomu mogu se naći u razvoju kamiona i kamionskoga prijevoza u cjelini, gradnji takve mreže javnih putova koja je omogućila masovnu uporabu kamiona te u otvaranju šuma gradnjom primarnih šumskih prometnica (Horvat i Šušnjar 2002). Promatrajući prijevoz drva kamionima u slobodnom tržištu, Kulušić (1988) smatra da se prednost kamionskoga prijevoza pred ostalim načinima daljinskoga prijevoza očituje u velikoj fleksibilnosti zbog mogućnosti izbora optimalnoga sredstva za prijevoz određene vrste tereta te ula-

ganja relativno malih investicijskih i obrtnih sredstava s brzim obrtom kapitala.

Od 1986. do 2000. godine broj kamionskih prijevoznih jedinica u vlasništvu trgovačkoga društva »Hrvatske šume« d.o.o Zagreb (HŠ) smanjio se s 400 na 250 komada zbog povećanja udjela privatnih prijevoznika. Od 1995. godine do danas zamjetno rastu količine drva koje prevezu poduzetnici i/ili kupci – od 51 % 1995. pa sve do 78 % 2004. (Tomašić 2005). Tomašić (2012) navodi kako su u 2011. godini »Hrvatske šume« sa svojim kapacitetima za prijevoz drva sudjelovale sa 16,1 %, dok privatni poduzetnici sudjeluju sa 72,1 %, a ostatak od 11,8 % čini mjesno stanovništvo koje traktorima prevozi ogrjevno drvo za vlastite potrebe. Za usporedbu, Beuk i dr. (2007.) navode da su u ukupnom prijevozu drva kamionskim skupovima u Hrvatskoj »Hrvatske šume« u 2007. godini sudjelovale s 21 %, dok preostalih 79 % prijevoza drva obavljaju privatni poduzetnici.



Slika 1. Kamionski skupovi »Hrvatskih šuma« d.o.o. A) IVECO Trakker, B) MAN 33-422, C) MAN 33-464, D) SCANIA P124

Fig. 1 Truck and trailer units owned by »Hrvatske šume« d.o.o.

Posebnosti daljinskoga prijevoza drva kamionima očituju se u njegovu cikličnom radu, gdje je vrlo teško osigurati »povratnu turu«, u čestom radu u nepovoljnim vremenskim uvjetima, vožnji po šumskim cestama velikoga nagiba i nepovoljnoga stanja gornjega ustroja. Holtzleitner (2009 i 2011) navodi da šumski kamionski skupovi provode čak do 14 % vožnje na šumskim cestama, zbog čega šumski kamionski skupovi moraju biti opremljeni snažnim pogonskim motorima, snažnijim od 4 kW/t, što je i zahtjev Pravilnika o tehničkim uvjetima vozila na cestama (NN 51/10, 84/10, 145/11 i 140/13). Konstrukcijska rješenja šumske nadogradnje šumskih kamionskih skupova takva su da se ne može koristiti, ili se vrlo rijetko koristi za prijevoz ostale robe. Svenson (2011) prema Klvaču (2013) nabroja niz tehničkih čimbenika koji utječu na potrošnju goriva šumskih kamionskih skupova, a samim time i na emisiju stakleničkih plinova. Čimbenike svrstava u ove skupine: značajke vozila, značajke prikolice, geometrija ceste, gornji ustroj šumske ceste, brzina kretanja, promjena stupnja

prijenosa, način vožnje, vrijeme i uvjeti gornjega ustroja šumske ceste. Devlin (2010) govori da navedeni čimbenici značajno utječu na potrošnju goriva prilikom daljinskoga prijevoza drva kamionima, koja može biti dvostruko veća u usporedbi s prijevozom drugih vrsta roba, a Favreau (2006) piše da u ukupnim troškovima daljinskoga prijevoza drva kamionima trošak goriva sudjeluje s 30 %.

Trgovačko društvo »Hrvatske šume« d.o.o 1996. godine imalo je 259 kamionskih skupova te je u ukupnom daljinskom prijevozu drva kamionima sudjelovalo s 85 %. Potrošnja goriva u svim radovima potrebnim za proizvodnju 1 m³ 1996. godine u hrvatskom šumarstvu bila je 6,96 L/m³, a potrošnja goriva u kamionskom prijevozu drva bila je 2,33 L/m³ ili 33,4 % ukupno utrošenoga goriva (Anić i dr. 1996). Karjalainen i Asikainen (1996) navode kako potrošnja goriva u Finskoj iznosi 56 L/100 km, dok emisija stakleničkih plinova (CO₂, CH₄ i N₂O) iznosi 0,03 kg/m³km. Prema Svenosonu (2011) potrošnju goriva u Švedskoj iznosi 28 L/100 km, a pre-

ma Klvaču (2013) potrošnja goriva iznosi 2,19 L/m³, odnosno 67,4 L/100 km. Pandur (2013) daje podatak da je utrošak energije u svim radovima potrebnim za proizvodnju 1 m³ drva u nizinskim šumama 634 MJ/m³, od toga iznosa energija goriva čini 86 %. Od svih radova potrebnih za proizvodnju 1 m³ utrošak energije pri kamionskom prijevozu drva iznosi 31 % ukupno utrošene energije.

Cilj je ovoga rada napraviti analizu podataka o ukupnim prevezenim količinama drva, potrošnji goriva po jedinici prevezenoga tereta te po tona kilometru (t km), koja je najbolji pokazatelj energetske učinkovitosti prijevoza, te analizu podataka o emisiji stakleničkih plinova također po jedinici prevezenoga proizvoda kamiona koji su u vlasništvu HŠ za 2012. godinu. Osim provedene analize dobiveni će se rezultati usporediti s rezultatima istraživanja potrošnje goriva u daljinskom prijevozu drva u Hrvatskoj koje navodi Anić i dr. (1996).

2. Materijal i metode – *Material and Methods*

Trgovačko društvo »Hrvatske šume« d.o.o. Zagreb u 2012. godini imalo je 101 kamionski skup, 38 IVECO, 55 MAN, 7 TAM i 1 SCANIA, raspoređenih u 13 radnih jedinica na području 13 uprava šuma podružnica (UŠP). Kamionski su skupovi prosječno imali 12,7 godina. Na slici 1 prikazani su kamionski skupovi koje

posjeduje trgovačko društvo »Hrvatske šume« d.o.o. Zagreb.

Analiza potrošnje goriva i emisije štetnih stakleničkih plinova kamionskoga prijevoza drva provedena je na osnovi podataka o praćenju rada kamiona u poduzeću HŠ u 2012. godini. Podaci koji su korišteni za analizu u ovom su radu:

- ⇒ godišnja proizvodnost kamionskoga skupa,
- ⇒ potrošnja goriva kamionskoga skupa,
- ⇒ broj ostvarenih turnusa,
- ⇒ ostvareni tona kilometri – t km,
- ⇒ kilometri vožnje opterećenoga kamionskoga skupa,
- ⇒ kilometri vožnje neopterećenoga kamionskoga skupa.

Na temelju ukupne potrošnje goriva, ukupno prevezenoga drva i ukupno ostvarenih kilometara izračunata je jedinična potrošnja goriva. Nadalje, potrošnja goriva po tona kilometru izračunata je tako da je prevezeni obujam, preračunat u masu, pomnožen s ostvarenim kilometrima vožnje opterećenoga kamionskoga skupa. Koeficijenti za pretvorbu obujma u masu prikazani su u tablici 1.

Emisija štetnih stakleničkih plinova izračunata je na temelju pretvorbenih vrijednosti koje su preuzete iz priručnika DEFRA (2012), a prikazani su u tablici 2. Vrijednosti prikazane u tablici 2 odnose se na proračun emisije s obzirom na točnu količinu utrošenoga goriva, što je prema navedenom priručniku i najtočniji način izračuna emisije. Za potrebe ovoga rada emisija štetnih stakleničkih plinova izračunata je po prevezenoj jedinici obujma, po prijednim kilometrima te po ostvarenim tona kilometrima. Na temelju prosječne jedinične potrošnje (L/m³) i ukupno proizvedenih sortimenata u 2012. godini koji su prevezeni kamionskim skupovima, i HŠ i privatnih prijevoznika, izračunata je ukupna emisija stakleničkih plinova koja je proizvod daljinskoga prijevoza drva kamionima u Republici Hrvatskoj. Izračun emisije štetnih stakleničkih plinova predstavlja procjenu, dok je točno stanje potrebo izravno izmjeriti.

Tablica 1. Koeficijenti za pretvorbu obujma u masu

Table 1 Coefficients for converting volume to mass

Naziv proizvoda – <i>Type of product</i>		Koeficijent pretvorbe <i>Converting coefficient</i>
Trupci <i>Roundwood</i>	Tvrde listače <i>Hard hardwood</i>	1,16
	Meke listače <i>Soft hardwood</i>	0,95
	Crnogorica <i>Softwood</i>	0,85
	Crnogorica bez kore <i>Softwood without bark</i>	0,8
Višemetarski ogrjev <i>Long firewood</i>	Tvrde listače <i>Hard hardwood</i>	1,00
	Meke listače <i>Soft hardwood</i>	0,85
	Crnogorica <i>Softwood</i>	0,8

Tablica 2. Vrijednosti za izračune emisije štetnih stakleničkih plinova

Table 2 Values for calculating greenhouse gases emissions

Vrsta goriva <i>Type of fuel</i>		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Ukupno <i>Total</i>
Diesel	kg/l	2,6569	0,0009	0,0191	2,6769

Prikupljeni su podaci sortirani u bazu podataka u MS Excel, dok su podaci obrađeni pomoću softvera STATISTICA.

Tablica 3. Promatrani parametri za sve kamionske skupove HŠ
Table 3 Observed parameters for all truck and trailer units (TTU's) of HŠ

Prevezeni obujam, m ³ <i>Volume of transported timber, m³</i>	842 776
Ukupno prijeđena udaljenost, km <i>Traveled distance, km</i>	3 499 901
Vožnja opterećenoga kamionskoga skupa, km <i>Loaded driving, km</i>	1 667 032
Vožnja neopterećenoga kamionskoga skupa, km <i>Unloaded driving, km</i>	1 832 869
Prosječni udio vožnje opterećenoga kamionskoga skupa, % <i>Average backhauling, %</i>	47,6
Ostvareni tona kilometri, t km <i>Achieved ton-kilometer, t km</i>	20 827 633
Ukupna potrošnja goriva, L <i>Total fuel consumption, L</i>	2 256 193
Jedinična potrošnja goriva, L/m ³ <i>Unit fuel consumption, L/m³</i>	2,73
Jedinična potrošnja goriva na 100 kilometra, L/100km <i>Average fuel consumption per 100 km, L/100km</i>	66
Jedinična potrošnja po tona kilometru, L/ t km <i>Average fuel consumption per ton-kilometer, L/ t km</i>	0,07
Ukupan broj turnusa <i>Total number of cycles</i>	36 144
Prosječna duljina jednoga turnusa (oba smjera), km <i>Average haulage distance (both directions), km</i>	96,83
Prosječan obujam turnusa, m ³ <i>Average volume of cycle, m³</i>	23,32
Prosječni dnevni učinak, m ³ <i>Average daily productivity, m³</i>	51,01

3. Rezultati i rasprava – Results and discussion

U 2012. godini »Hrvatske šume« proizvele su 4 823 786 m³ drva neto (obujam drva bez kore, smanjenje obujma zbog propisnosti mjerenja, smanjenje obujma zbog greške Huberove formule za izračun obujma drvnih sortimenata), od toga 2 297 782 m³ tehničke oblovine, 2 146 122 m³ višemetarskoga ogrjeva i 379 882 m³ jednometarskoga ogrjeva. Kamioni kojima se koriste »Hrvatske šume« prevezli su ukupno 842 776 m³ ili 17,47 % ukupno proizvedenih sortimenata, privatni prijevoznici prevezli su 74,65 % ili 3 600 956 m³, dok ostatak daljinskoga prijevoza drva od 7,88 % jest prijevoz jednometarskoga ogrjeva za potrebe lokalnoga

stanovništva koji se najčešće obavlja pomoću poljoprivrednih traktora s poluprikolicom. Kamionski skupovi HŠ prevezli su navedeni obujam uz utrošak goriva od $2,25 \times 10^6$ L te su ostvarili ukupni prijeđeni put od 3 499 901 km.

U tablici 3 dan je prikaz svih analiziranih parametara za kamionske skupove koje posjeduju »Hrvatske šume« d.o.o. Udio vožnje opterećenoga kamionskoga skupa kretao se od 34,2 % do čak 57,3 %, što je jako velik raspon.

Na slici 2 prikazana je godišnja proizvodnost kamionskih skupova koje imaju »Hrvatske šume« d.o.o. Njihova je prosječna proizvodnost bila 8 344 m³, najveća je proizvodnost 15 754 m³, a najmanja 2 527 m³. Na godišnju proizvodnost kamionskih skupova izravan utjecaj ima prosječna udaljenost prijeđena za potrebe jednoga turnusa. Tako se u 2012. godini prosječna udaljenost vožnje opterećenoga kamionskoga skupa kretala od 17 do 68 km s prosjekom od 37 km. Na slici 2 prikazane su prosječne udaljenosti vožnje opterećenoga kamionskoga skupa po UŠP. Osim prosječne vožnje opterećenoga kamionskoga skupa na proizvodnost kamionskih skupova utječe godišnja iskorištenost radnih dana, tehnička ispravnost, iskorištenost kamionskih skupova, značajke drva koje se prevozi te zakonitost obujma komada (Spiedel 1952).

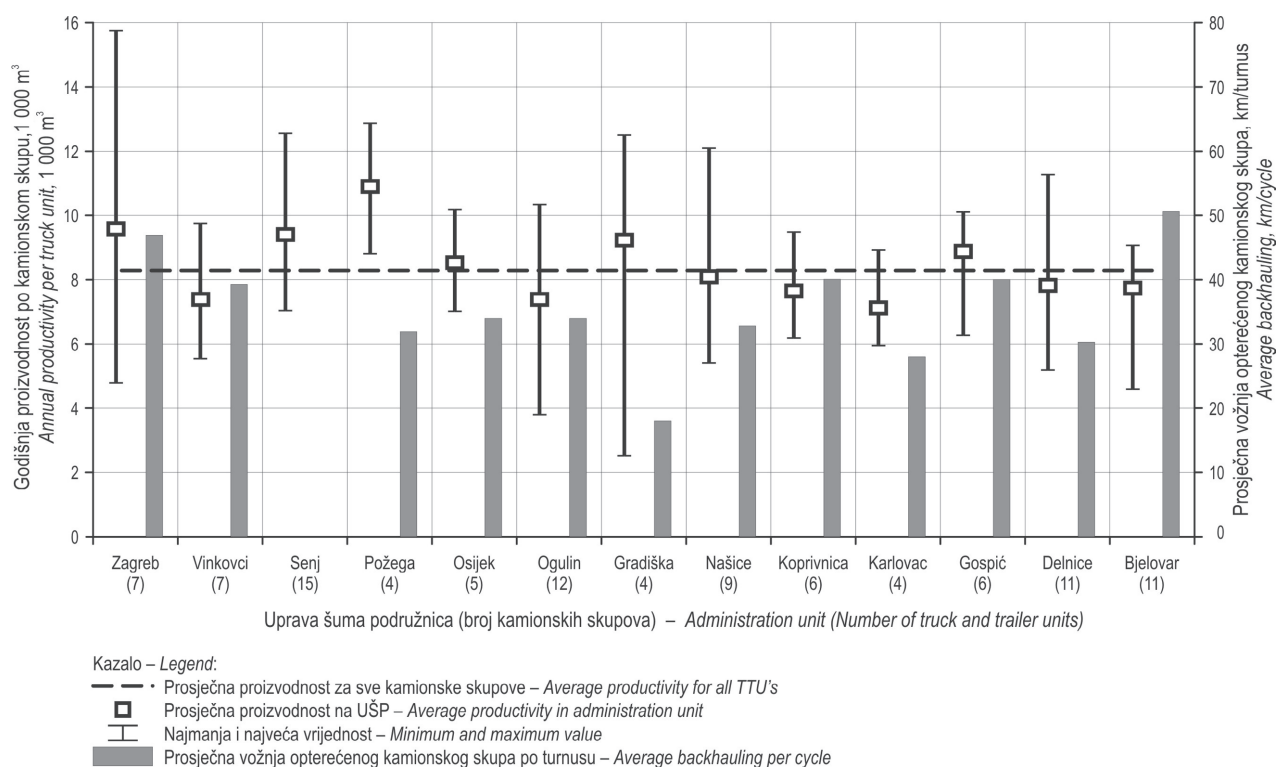
Na slikama 3, 4 i 5 prikazana je potrošnja goriva kamionskih skupova u pojedinom UŠP-u. Na slici 3 prikazana je potrošnja goriva po jedinici prevezenoga obujma drva. Prosječna potrošnja iznosi 2,73 L/m³, najveća potrošnja goriva po jedinici prevezenoga obujma je 3,9 L/m³, dok je najmanja 1,26 L/m³.

Potrošnja goriva po prijeđenom kilometru kretala se između 0,46 – 0,94 L/km s prosječnom vrijednošću za sve kamionske skupove od 0,66 L/km (slika 4), odnosno 66 L/100 km.

Na slici 5 prikazana je potrošnja goriva kamionskih skupova po ostvarenom tona kilometru. Potrošnja se kretala od 0,04 do 0,16 L/t km, s prosjekom potrošnje od 0,07 L/t km.

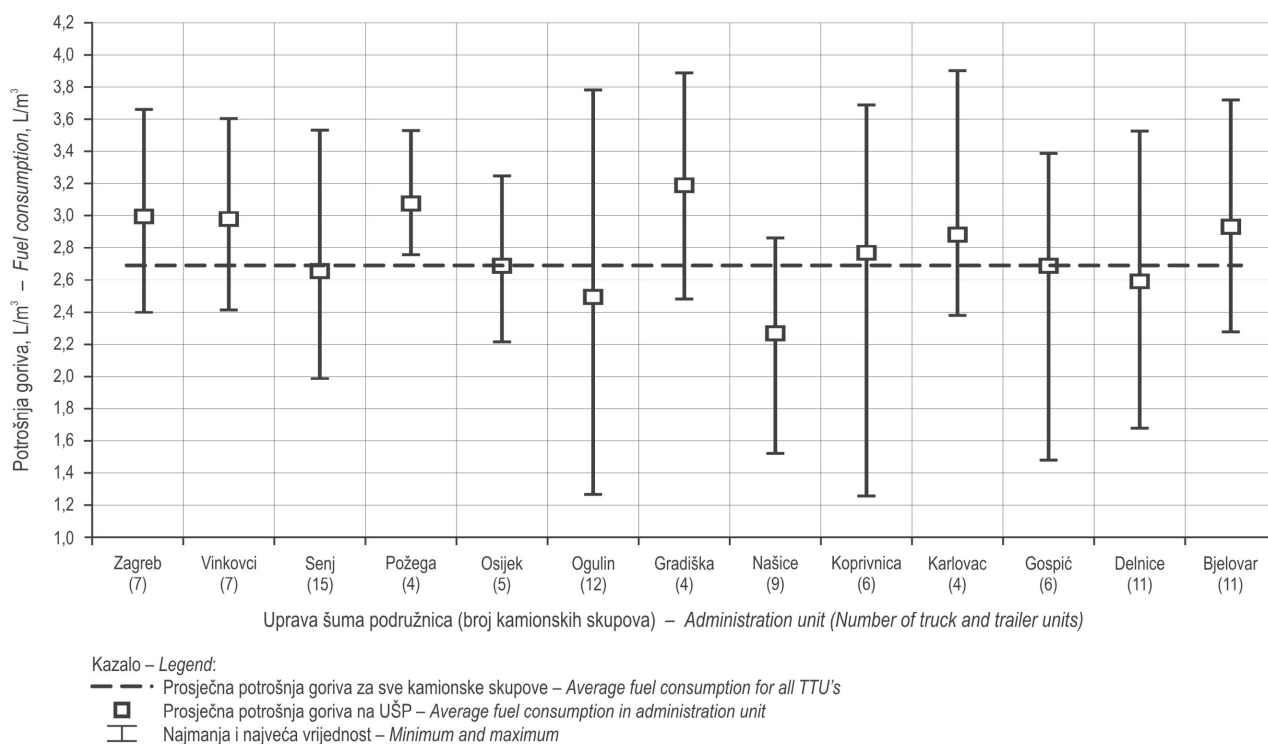
Prosječna potrošnja goriva od 2,73 L/m³ veća je za 0,4 L/m³ od potrošnje koju navodi Anić i dr. (1996). Razlog povećane potrošnje goriva u današnje vrijeme u odnosu na 1996. godinu vjerojatno je nastala zbog poštivanja osovinskih opterećenja koje propisuje Pravilnik o tehničkim uvjetima vozila na cestama (NN 51/10), zbog čega se u jednom ciklusu preveze manji obujam drva. Nadalje, nastala je razlika vjerojatno rezultat i toga što se u današnje vrijeme koriste kamioni s nešto snažnijim pogonskim motorima.

Ako se pak usporede dobiveni rezultati s rezultatima koje navodi Klvač (2013), razlika od 20 % više utrošenoga goriva po kubnom metru vjerojatno je nastala



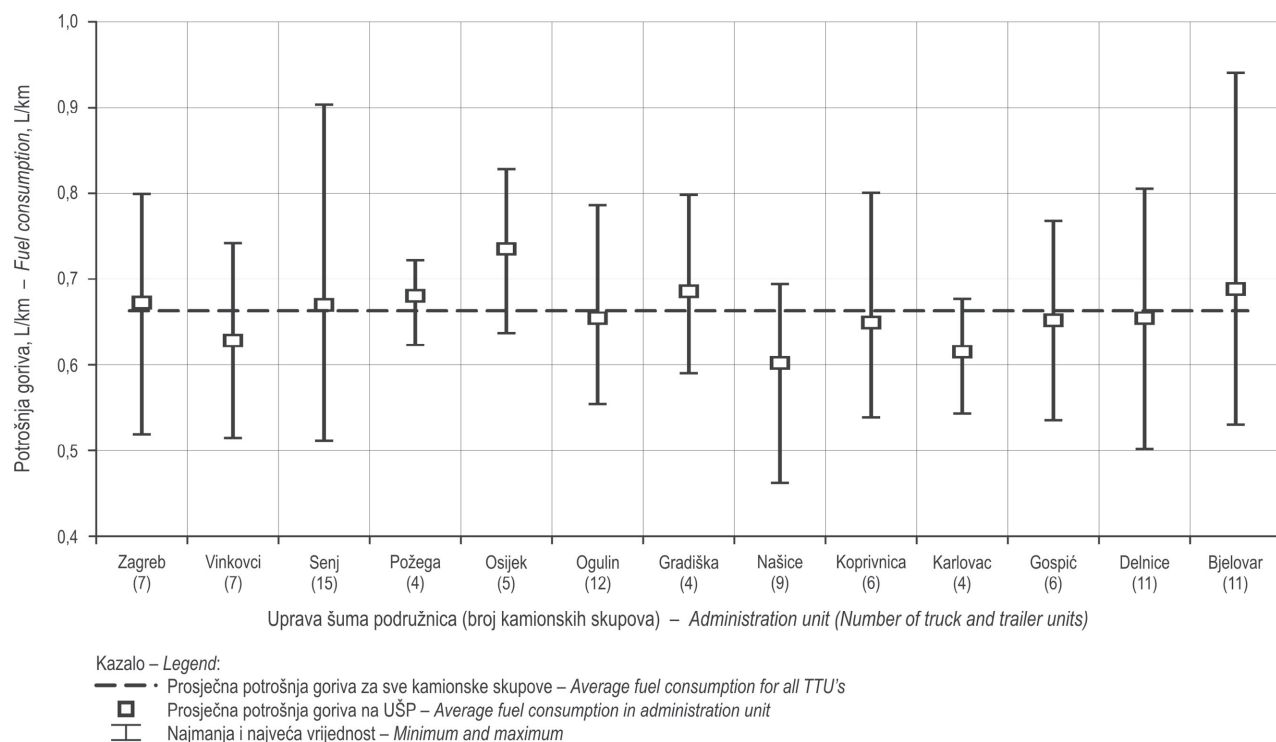
Slika 2. Godišnja proizvodnost kamionskih skupova »Hrvatskih šuma« d.o.o.

Fig. 2 Annual productivity of truck and trailer units of »Hrvatske šume« d.o.o.



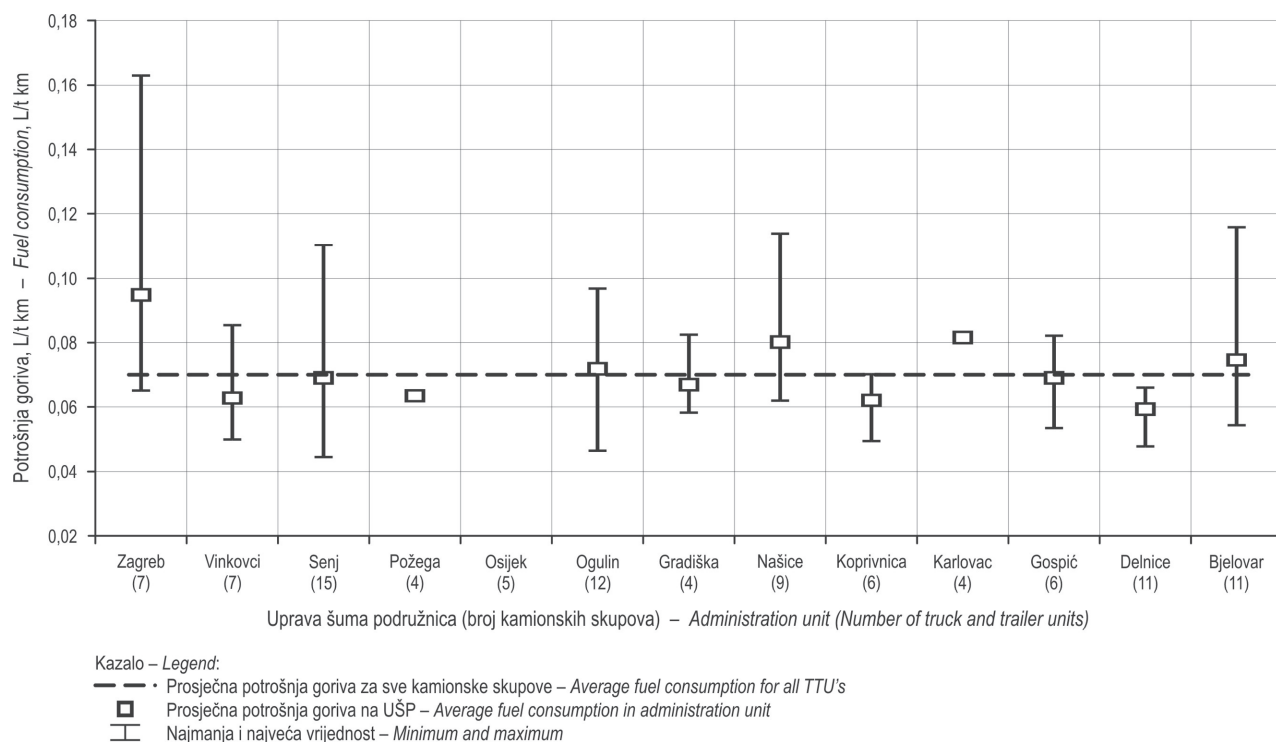
Slika 3. Jedinična potrošnja goriva, L/m³

Fig. 3 Unit fuel consumption, L/m³



Slika 4. Jedinična potrošnja goriva po prijeđenom kilometru, L/km

Fig. 4 Unit fuel consumption per kilometer, L/km



Slika 5. Jedinična potrošnja goriva po ostvarenom tona kilometru, L/t km

Fig. 5 Unit fuel consumption per ton-kilometer, L/t km

Tablica 4. Emisija stakleničkih plinova**Table 4** Greenhouse gases emission

		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Ukupno
Emisija stakleničkih plinova	kg/m ³	7,12	0,002	0,05	7,172
Greenhouse gases emission	kg/km	1,75	0,0006	0,013	1,7636
	kg/tkm	0,19	0,00006	0,001	0,191

zbog toga što je 2012. godine prosječna starost kamionskih skupova HŠ bila 12,7 godina. Osim starosti kamiona razlika u potrošnji goriva nastala je i zbog obračuna prevezenoga obujma, jer »Hrvatske šume« za svoju evidenciju uzimaju neto obujam drva, dok je Klvač u svojim istraživanjima uzimao obujam drva s korom.

Na osnovi vrijednosti emisija stakleničkih plinova, prikazanih u tablici 2, te potrošnje goriva izračunata je emisija stakleničkih plinova kamionskih skupova u vlasništvu HŠ. Emisija stakleničkih plinova prikazana je u tablici 4. Ukupna emisija stakleničkih plinova u 2012. godini, koja je nastala kao proizvod daljinskoga prijevoza drva kamionima (kamioni HŠ i kamioni privatnih prijevoznika) u hrvatskom šumarstvu iznosi 31,88 Gg. Modernizacijom kamionskih skupova, kako u vlasništvu privatnih prijevoznika tako i u vlasništvu HŠ, treba očekivati smanjenje emisije štetnih stakleničkih plinova jer u 2012. godini samo četiri kamionska skupa trgovačkoga društva »Hrvatske šume« d.o.o Zagreb zadovoljavaju EURO V norme.

Emisija stakleničkih plinova izračunata u ovom radu, 0,191 kg/t km, značajno je veća od emisije koju iznose Karjalainen i Asikainen (1996) – 0,03 kg/m³km. Razlog leži u činjenici da je prosječan obujam tovara koji su prevezli kamioni HŠ iznosio 23,32 m³, dok je prosječan obujam tovara u Finskoj 1996. godine iznosio 49 m³.

Povećanje okolišne pogodnosti i energetske učinkovitosti kamionskoga prijevoza drva moguće je provesti na nekoliko načina. Tako Loforth i Lindholm (2005) smatraju da se potrošnja goriva i maziva može smanjiti za 5–10 % poboljšanjem aerodinamičnosti kamiona.

Löföth i Svenson (2011) na primjeru kamionskoga skupa »One stack more« navode kako se povećanjem dopuštene nosivosti kamionskoga skupa s 60 na 90 tona značajno smanjuje potrošnja goriva po jedinici prevezenoga drva, do čak 20 %, a samim time značajno se smanjuje emisija štetnih stakleničkih plinova. Nadalje navode kako povećanje ukupne mase kamionskoga skupa sa 60 na 90 tona nema negativnoga utjecaja na ceste zbog ujednačenoga rasporeda mase po osovina, te da povećanje duljine kamionskoga skupa nema negativnoga učinka na sigurnost prometa, štoviše smanjenjem broja vozila na cesti povećava se sigurnost.

Anon. je (2012) proveo istraživanje uspoređujući konvencionalni kamionski skup sa »Star Truck« koji je bio manje mase, opremljen središnjim sustavom za kontrolu tlaka u gumama, sustavom za mjerenje mase tovara kako bi se optimalno iskoristio tovarni prostor. Sve je to potaknulo prijevoz veće količine korisnoga tereta za 9,8 %, uz povećanje potrošnje goriva za samo 1 %, prijevoz 8,6 % više jedinice tovara po litri goriva, smanjenje od 8 % troškova goriva po prevezenoj toni te smanjenje trošenja guma zbog korištenja središnjega sustava za kontrolu tlaka u gumama.

4. Zaključak – Conclusion

Kamionski prijevoz drva zbog svojih svojstava ima velik negativan utjecaj na okoliš te nisku energetske učinkovitost. Potrošnja goriva ima važan utjecaj na ukupne troškove kamionskoga prijevoza drva te stoga značajan utjecaj na troškove pridobivanja drva. U usporedbi s potrošnjom goriva 1996. godine povećala se potrošnja goriva.

Kako bi se unaprijedio daljinski prijevoz drva kamionima te smanjila potrošnja goriva i emisija stakleničkih plinova, potrebno je uz pomoć sustava daljinskoga praćenja vozila (FMS-a) provesti detaljniju analizu rada kamionskih skupove te izravnim mjerenjima utvrditi stvarnu potrošnju goriva, ukupnu i potrošnju po radnim zahvatima. Dalje, potrebno je izmjeriti stvarnu emisiju stakleničkih plinova te iskorištenost kamionskih skupova, zatim je potrebno odrediti utjecaj načina vožnje i utjecaj stanja cestovnoga zastora na potrošnju goriva. Modernizacijom kamionskih skupova može se očekivati smanjenje potrošnje goriva i smanjenje emisije štetnih stakleničkih plinova. Prosječni je udio pune vožnje u radu kamionskih skupova nizak, ispod 50 %, te je potrebno pronaći organizacijska rješenja za povećanje udjela pune vožnje čime će se izravno pridonijeti smanjenju jedinične potrošnje goriva i povećanju iskorištenosti kamionskih skupova.

Osim detaljnijega praćenja daljinskoga prijevoza drva kamionima i novih organizacijskih rješenja potrebno je i naći nova tehnička rješenja (npr. ugradnja montažno-demontažne dizalice, električni pogon hidraulične

pumpe za pogon dizalice) koja će pridonijeti povećanju energetske učinkovitosti, smanjenju utjecaja na okoliš te povećanju iskorištenosti kamionskih skupova.

5. Literatura – References

- Anić, I., G. Fabijanić, S. Figurić, I. Hodić, D. Horvat, A. P. B. Krpan, S. Matic, Š. Meštrović, M. Oršanić, M. Polaček, T. Poršinsky, S. Puljak, S. Risović, S. Sever, S. Tomljanović, 1996: Razvoj i organizacija hrvatskoga energetskog sektora, Knjiga 6, Gospodarenje šumama u Hrvatskoj – Proizvodnja i potrošnja energenata i energije. Energetski institut »Hrvoje Požar«, Zagreb, 1–76.
- 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
- Beuk, D., Ž. Tomašić, D. Horvat, 2007: Status and development of forest harvesting mechanisation in Croatian state forestry, Croatian Journal of Forest Engineering 28(1): 63–82.
- DEFRA, 2012: Guidelines to Defra / DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting: Methodology Paper for Emission Factors. Department for Environment, Food and Rural Affairs.
- Devlin, G., 2010: Fuel consumption of timber haulage versus general haulage. Harvesting/transportation No. 22. COFORD, 6 p.
- Favreau, J., 2006: Six key elements to reduce forest transportation cost. FERIC. Available on <http://www.forac.ulaval.ca/fileadmin/docs/EcoleEte/2006/Favreau.pdf>
- 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. ISBN 978-80-213-1939-4.
- Holzleitner, F., Ch. Kanzian, K. Stampfer, 2011: Analyzing time and fuel consumption in road transport of round wood 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. Studija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 1–25.
- Karjalainen, T., A. Asikainen, 1996: Greenhouse gas emissions from the use of primary energy in forest operations and long-distance transportation of timber in Finland. Forestry 69 (3): 215–228.
- 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 prijevoz drvne mase u Hrvatskoj – faktori razvoja i stanje. Drvna industrija 42(3–4): 49–54.
- Kulušić, B., 1988: Prijevoz drveta kamionskim kompozicijama. Šumarstvo i prerada drva XLII (10–12): 291–300.
- Löfroth, C., E. L. Lindholm, 2005: Reduced fuel consumption on roundwood haulage rigs. Skogforsk. Resultat, 23.
- Löfroth, C., G. Svenson, 2011: Two years with ETT, Skogforsk, <http://www.skogforsk.se/en/>
- Malnar, M., 2000: Tehničko-tehnološki čimbenici prijevoza drva u brdsko-gorskim uvjetima na primjeru šumarije Prezid. Magistarski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Pandur, Z., 2013: Primjena komercijalnog sustava za praćenje rada strojeva u istraživanju izvoženja drva forvarderom. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–312.
- Speidel, G., 1952: Das Stückmassegesetz und seine Bedeutung für den internationalen Leistungsvergleich bei der Forstarbeit. Dissertation. Universität Hamburg, 1–66.
- Svenson, G., 2011: The impact of road characteristics on fuel consumption for timber trucks. In: P. Ackerman, H. Ham, E. Gleasure (eds), Proceedings of 4th Forest Engineering Conference: Innovation in Forest Engineering – Adapting to Structural Change. Stellenbosch University, p. 172. ISBN 978-0-7972-1284-8.
- Tomašić, Ž., Z. Sučić, M. Slunjski, M. Polaček, 2005: Ovodobno stanje prijevoza drva kamionskim skupovima u hrvatskom šumarstvu. Nova mehanizacija šumarstva 26(1): 65–71.
- 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.
- *Pravilnik o tehničkim uvjetima vozila na cestama, Narodne novine, 51/10, 84/10, 145/11 i 140/13.

Abstract

Fuel Consumption and Greenhouse Gas Emission in Timber Haulage in Croatian Forestry

Timber haulage is the last phase of wood harvesting. Due to its characteristics, cycle operation, a lot of unloaded driving, high purchase price of truck units, transport of small amounts of cheap goods, high oil prices, high fuel consumption, timber haulage is most expensive phase of wood harvesting. Apart from high prices, timber haulage has a lot of negative impact on environment due to its high greenhouse gas emission.

The aim of this paper is to analyze the data of the total amount of transported timber, fuel consumption per ton-kilometer, which is the finest indicator of energy consumption of transport, and to analyze greenhouse gas emission per production unit for all truck and trailer units owned by »Hrvatske šume« Ltd. (HŠ) in 2012. Furthermore, the obtained results have been compared with the results of fuel consumption given by Anić et al. (1996).

In 2012. »Hrvatske šume« Ltd. owned 101 truck and trailer units of different types (Fig. 1). In the analyzed year, their truck and trailer units transported 842 776 m³ or 17.47 % of all produced wood assortments. The rest was transported by private companies (74.65 %), and by local population (7.88 %). For transportation of 17.47 % of wood assortments, trucks owned by HŠ consumed 2.25×10⁶ L of fuel and they traveled 3 499 901 km. Some research parameters are shown in Table 3. It is interesting to see that the range of backhauling was from 34.2% to 57.3 %, with an average of 47.6 %.

Fig. 2 shows the annual productivity of truck and trailer units owned by HŠ. Fig. 3 to 5 show fuel consumption of all analyzed truck and trailer units, distributed in 13 administration units. Fig. 3 shows fuel consumption per unit of transported wood. The average fuel consumption was 2.73 L/m³, the maximum fuel consumption was 3.9 L/m³, while the minimum was 1.26 L/m³. Fuel consumption per traveled kilometer was between 0.46 and 0.94 L/km with an average value of 0.66 L/km or 66 L/100km (Fig. 4). Figure 5 shows fuel consumption per ton-kilometer. Values were from 0.04 to 0.16 L/t km.

The calculated average unit fuel consumption of 2.73 L/m³ is higher by 0.4 L/m³ than the consumption given by Anić et al. (1996). The reason for this higher consumption probably lies in stricter control of maximum allowed axle loads and total mass of truck and trailer unit, which results in lower amount of timber transported in one cycle. Furthermore, difference stems from different engine power of trucks used in 1996 compared to trucks used in 2012.

Based on values of emission factors showed in Table 2 and unit fuel consumption, we calculated greenhouse gas emission of truck and trailer units owned by HŠ. The emission values are showed in Table 4. Total greenhouse gas emission emitted from timber haulage in Croatian forestry (TTU's owned by HŠ and private contractors) is 31.88 Gg. This value is only an estimate, and the real value is to be determined. It is expected that emission will decline in the future, because in 2012 HŠ owned only 4 truck and trailer units, which meets the requirements of EURO V norm.

Due to its characteristics, timber haulage has a negative impact on the environment and very low energy efficiency. Fuel consumption has a great impact on total timber haulage costs and therefore also a great impact on wood harvesting costs.

To improve timber haulage and decrease fuel consumption and greenhouse gas emission, it is necessary to conduct a detailed survey of timber haulage using Fleet Management System, and to determine with direct measurements the exact fuel consumption, both total consumption and consumption by working procedures. It is also necessary to measure GHG emission, and utilization of truck and trailer units. Furthermore, it is needed to determine the effect of driver behavior on fuel consumption, as well as the effect of forest road conditions on fuel consumption. Besides the implementation of FMS system and new organization solutions, it is needed to find new technical solutions (e.g. install dismantling crane, electric propulsion of hydraulic pump for crane drive), with the aim to increase energy efficiency, decrease negative impact on the environment and increase utilization of timber haulage.

Keywords: timber haulage, truck and trailer unit, fuel emission, greenhouse gas emission

Adresa autorâ – Authors' addresses:

Marko Zorić, mag. ing. silv.*
e-pošta: mzoric@sumfak.hr
Izv. prof. dr. sc. Marijan Šušnjar
e-pošta: susnjar@sumfak.hr
Dr. sc. Zdravko Pandur
e-pošta: pandur@sumfak.hr
Zavod za šumarske tehnike i tehnologije
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Svetošimunska 25
10 000 Zagreb
HRVATSKA
Kristijan Mihaljević, mag. ing. silv.,
e-pošta: kristijan.mihaljevic88@gmail.com
Kneza Trpimira b.b.
80101 Livno
BOSNA I HERCEGOVINA

*Glavni autor – Corresponding author

Analysis of Energy Value of Some Tree Species

Ljupčo Nestorovski, Mitko Nacevski, Zdravko Trajanov, Pande Trajkov

Abstract – Nacrtak

This paper presents the investigation of five (5) characteristic forestry species (Fagus xmoesiaca (K. Malý) Czezořt, Quercus petraea (Matt.) Liebl., Quercus pubescens Willd., Carpinus orientalis Mill., Pinus nigra J. F. Arnold) that cover the major part of the total forest area, and account for around 70% of the total forest reserve in the Republic of Macedonia. These forestry species are also very common in other regional forests.

The purpose of this investigation is to establish the energy value of these species at different trunk height and different parts of the tree (wood, bark) in order to determine the differences due to different cell structure.

The material for this investigation was collected in different regions of the Republic of Macedonia, and for each investigated species the material was collected at two different locations with different ecological conditions. Wood density parameters of tree species were also established for local conditions, and combined with the available sources from other countries. The article presents a harmonized approach to estimate the potential for energy production by different species, eliminating different ecological growing conditions.

The results of the investigation show that the conifers have higher energy value than broad-leaved species, and that this difference is significant. There were no significant differences in the energy potential between different parts of the tree (1.3 and 5.3 m, branches), except for the bark. The energy potential of the selected species is significant, and with certain technological changes in the phase of forest utilization and in the process of transformation of wood into other kinds of energy (heat, electric, etc.), it is a significant basis for the improvement of the energy balance of the Republic of Macedonia, along with the use of the alternative, renewable and environmentally friendly energy.

Keywords: biomass, calorific value, alternative energy

1. Introduction – Uvod

The availability of energy is becoming a major issue since the demand for energy is growing every day. Concerning that fact, as well as the fact that the reserves of fossil fuels, such as oil coal and natural gas are limited, the world is turning towards discovering and using alternative, environmentally friendly, and renewable energy resources (Laponche et al. 1997).

One of these resources is forest biomass. Wood has been used as energy source since the early days. While in Western Europe the use of firewood decreased in favour of fossil fuels, large parts of the human population in South-Eastern Europe (SEE) still depend on

wood as energy source. In the wake of Kyoto Protocol, the use of renewable resources for energy production has become a major issue in climate change mitigation (IPCC 2007). Forest biomass plays a major role in the biomass action plans of EU as well as in most national policies in Europe. This interest in increased utilization of forest biomass resources gave rise to questions on the potentials and limitations of forest ecosystems to produce biomass in a sustainable way. The importance of forests as a major source of global biodiversity has become well known during the recent decade, not only as a source for utilization of wood and other non-wood products, but also for providing a multitude of other ecosystem services and functions.

2. Objective of research – Cilj istraživanja

Forests contribute a substantial share of the energy balance in the Republic of Macedonia, where a significant share of the population heats with firewood or other biomass sources (75% of the heating energy is coming from firewood) (Kennedy 2004). According to the analysis of the World Bank, the Balkan region is, or will be very soon, in a position where the energy availability will be restricted due to the lack of investments in the energy sector (Kennedy 2004). The objective of this paper is to estimate the potential of biomass for energy production from forests and contribute to a more rational discussion about prospects and problems of forest biomass as an energy source. The data used in this paper come from the actual forest management plans and Statistical Yearbooks.

The Republic of Macedonia is a developing country in the south-east of Europe with a low level of energy resources and lack of capacities for energy production. It has no natural gas and fossil fuel resources, and has limited lignite reserves. Its total annual energy production is around 122 000 TJ, and the total annual energy consumption is around 218 000 TJ. 56% of the needs are covered by domestic resources, and 44% of the needs are met by import. The main energy production is from coal (around 70 000 TJ), followed by oil (around 40 000 TJ) and forest biomass (around 7 000 TJ).

About 85% of the electricity production is concentrated in two lignite fired thermal power plants (TPP), and the rest is covered by the hydro power plants. The electricity generating capacity is around 7 500 GW/year (Anon. 2009).

The goal of this investigation is to estimate and emphasize the energy potential of the forests, and to investigate the possibility to invest in this sector and produce energy in a modern, and economically and environmentally sustainable way.

3. Approach – Pristup

Forests in the Republic of Macedonia are mostly coppice, of low quality and of different species. The first task was to determine the tree species most commonly used for firewood production, as well as to estimate their energy potential. Also, since there are huge areas covered with artificially planted conifers, mostly with *Pinus nigra* J. F. Arnold, that are ready for silvicultural measures (thinning), and there is no market demand for such assortments, to see whether it is possible to use them as energy wood. The next step was to determine different locations for each species, from where samples would be collected, in order to discover possible influence of ecological factors on wood energy potential. For each species, two locations with different ecological fac-

tors (altitude, exposition, soil and stand quality) were randomly selected and from each one of them, samples were collected to analyze the energy potential and wood density from different parts of the trees (1.3 m, 5.3 m, branches, bark and small branches) in order to investigate possible differences in potential and density.

The collected samples were then brought in the laboratory, where the energy potential and density of each species were established in absolutely dry condition, and statistically processed.

4. Results – Rezultati

4.1 Calorific values – Kalorična vrijednost

Calorific values of different species and different tree parts were established with calorimeter in the laboratory, where each species was chopped, dried and burned in the calorimeter. We also distinguished the differences in calorific values from different tree parts and different stand conditions, and concluded that there were no statistically significant differences within the same species (except for bark).

The results presented in Fig. 1 show that energy value of the wood is higher than energy value of the bark in broadleaved species, while the opposite applies to conifers.

The average calorific value of different species was established in MJ/kg (Table 1).

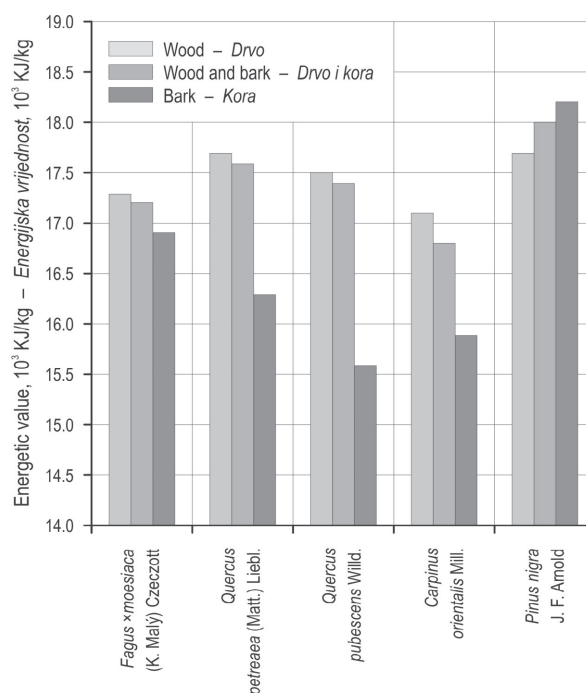


Fig. 1 Energy value of investigated tree species

Slika 1. Energijske vrijednosti istraživanih vrsta drveća

Table 1 Calorific value (t_0) of different tree species**Tablica 1.** Kalorične vrijednosti (t_0) različitih vrsta drveća

Tree species – Vrsta drveća	Energy value, KJ/kg – Energijska vrijednost, KJ/kg		
	Average value Srednja vrijednost	Standard deviation Standardna devijacija	Coefficient of variation Koeficijent varijacije
<i>Fagus × moesiaca</i> (K. Malý) Czechtz	17 218.8	517.287	3.004
<i>Quercus petraea</i> (Matt.) Liebl.	17 426.36	646.71	3.711
<i>Quercus pubescens</i> Willd.	16 971.78	909.257	5.358
<i>Carpinus orientalis</i> Mill.	16 688.14	756.3	4.532
<i>Pinus nigra</i> J. F. Arnold	17 924.70	446.081	2.489

The average calorific values are higher in coniferous (pine) than in broadleaved species. *Pinus nigra* J. F. Arnold has the highest calorific value, and *Carpinus orientalis* Mill the lowest.

4.2 Density – Gustoća

Wood density of different species was established based on the samples from the same trees and locations, in three different conditions: absolutely dry (0% moisture content), 12% moisture content and nominal density. These results were also compared with other previous investigations, and they were in the same range (Nacevski et al. 2002). The results are presented in Table 2.

Among the investigated species, *Quercus pubescens* Willd. has the highest density, and *Pinus nigra* J. F. Arnold the lowest.

4.3 Energy potential – Energijski potencijal

Wood assortments in the Republic of Macedonia are sold in cubic meters, so the potential of the investigated species was established in MW/m³, as an equivalent of electricity, because it is the best way to present

the comparison. The used ratio was 1 KWh = 3.6 MJ, or 3600 kJ (Nestorovski 2003, Chiani et al. 2010). *Quercus pubescens* Willd. has the highest energy content for 1 m³, and *Pinus nigra* J. F. Arnold has the lowest. These differences are significant from species to species, having in mind their differences in wood density. The energy potential of the wood with 20% moisture content was established using the relation that for evaporating 1 kg of water, it is necessary to burn 2 kg of dry wood. The results are presented in Table 3 and Fig. 2.

The highest difference between energy potential in absolutely dry and 20% moisture content was established in beech and coniferous species, while other species were more stabile.

5. Conclusion – Zaključak

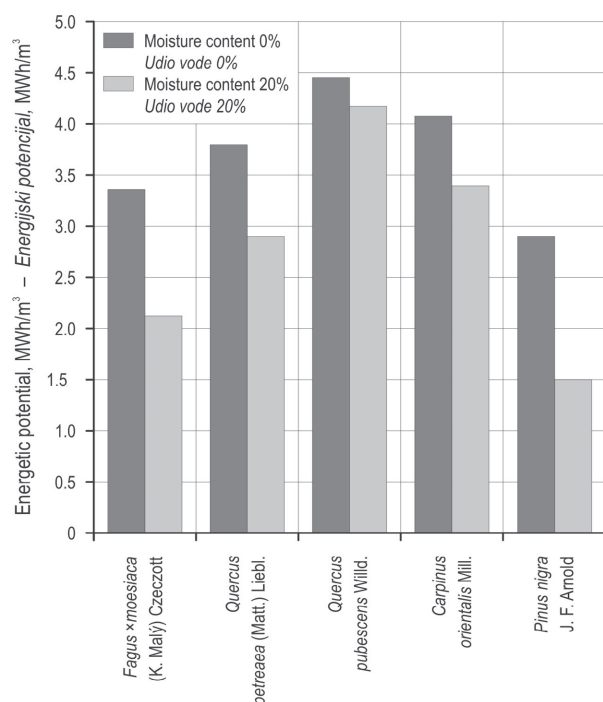
Energy potential of the selected species is considerable. *Pinus nigra* J. F. Arnold has the highest energy potential with 18 018.51 KJ/kg, followed by *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. with 17 646.89 KJ/kg, *Quercus pubescens* Willd. with 17 391.61 KJ/kg, *Fagus × moesiaca*

Table 2 Wood density**Tablica 2.** Gustoća drva

Tree species – Vrsta drveća	Density, kg/m ³ – Gustoća, kg/m ³		
	Moisture content 0% Udio vode 0 %	Moisture content 12% Udio vode 12 %	Nominal Nominalna
<i>Fagus × moesiaca</i> (K. Malý) Czechtz	703	726	645
<i>Quercus petraea</i> (Matt.) Liebl.	782	800	736
<i>Quercus pubescens</i> Willd.	946	952	809
<i>Carpinus orientalis</i> Mill.	876	895	702
<i>Pinus nigra</i> J. F. Arnold	582	615	512

Table 3 Energy potential**Tablica 3.** Energijski potencijal

Tree species – Vrsta drveća	Energy potential, MWh/m ³ – Energijski potencijal, MWh/m ³	
	Moisture content 0% Udio vode 0 %	Moisture content 20% Udio vode 20 %
<i>Fagus × moesiaca</i> (K. Malý) Czechtz	3.36	2.11
<i>Quercus petraea</i> (Matt.) Liebl.	3.78	2.90
<i>Quercus pubescens</i> Willd.	4.45	4.16
<i>Carpinus orientalis</i> Mill.	4.06	3.40
<i>Pinus nigra</i> J. F. Arnold	2.90	1.50

**Fig. 2** Energy potential of wood**Slika 2.** Energijski potencijal drva

(K. Malý) Czechtz with 17 204.93 KJ/kg and *Carpinus orientalis* Mill. with 16 841.05 KJ/kg.

Due to the difference in wood density, these values are different when converted into MW/m³, so *Quercus pubescens* Willd. has the highest value with 4.45 MW/m³ (0% moisture content) and 4.16 (20% moisture content), followed by *Carpinus orientalis* Mill. with 4.06 and 3.40 MW/m³, *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. with 3.78 and 2.90 MW/m³, *Fagus × moesiaca* (K. Malý) Czechtz 3.36 and 2.11 MW/m³, and *Pinus nigra* J. F. Arnold. 2.90 and 1.50 MW/m³, respectively.

Energy produced from forest biomass is considered environmentally friendly, with low production of GHG and ash (Kovacevik et al. 2011, Nestorovski 2012).

Having in mind the obligations towards EU to gain at least 20% of the energy from environmentally friendly and sustainable resources, it is recommended to invest in this sector, as one of the most prospective for energy production in the following period, and help reducing high CO₂ emissions, instead of using fossil fuels.

6. References – Literatura

- Anon., 2009: Statistical Yearbook: Energy Balance for Republic of Macedonia 2009. Ministry of economy, Republic of Macedonia.
- Azievska, M., 2008: Second national communication on climate change. Ministry of environment and physical Planning of Republic Macedonia, 118 p.
- Chiani, F., Corradi, C., Perugini, L., Rappuoli, V., Valentini, R., Angelova, E., Nestorovski, Lj., 2010: Biomass availability in the territory of republic of Macedonia, MOEPP, 2010.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- Kennedy, D., 2004: FYR Macedonia Energy Policy Paper. Report No. 29709 –MK, The World Bank, 1–32.
- Kovacevik, G. P., Melis, C., Nestorovski, Lj., 2011: Forestry biomass use for energy production in Macedonia. 19th European biomass conference, Berlin.
- Laponche, B., Jamet, B., Colombier, M., Attali, S., 1997: Energy efficiency for a sustainable world. ICE editions, Paris.
- Nacevski, M., Nestorovski, Lj., Iliev, B., Trajanov, Z., 2002: Quality analysis of the wood from domestic and foreign tree species, Ministry for education and science, Skopje.

Nestorovski, Lj., 2003: Comparative Analysis of the energetic potential of forests as an renewable resources and the possibilities for its utilization in Republic of Macedonia. Skopje.

Nestorovski, Lj., Nacevski, M., Trajkov, P., Trajanov, Z., Kovacevic, G., 2011: Analysis of the Energetic Potential of For-

ests in Republic of Macedonia. 19th European biomass conference, Berlin.

Nestorovski, Lj., Nacevski, M., Trajkov, P., Trajanov, Z., Danilovic, M., 2012: Analysis of the Ash Quantity During Beech Wood Combustion. Forest Review 43: 12–14.

Sažetak

Analiza energijskih vrijednosti nekih vrsta drveća

Predmet je ovoga istraživanja pet karakterističnih šumskih vrsta drveća (Fagus × moesiaca /K. Malý/ Czechtott, Quercus petraea /Matt./ Liebl., Quercus pubescens Willd., Carpinus orientalis Mill., Pinus nigra J. F. Arnold), koje pokrivaju najveći dio ukupne šumske površine i koje sudjeluju s oko 70 % u ukupnoj drvenoj zalihi šuma Republike Makedonije, a i često se nalaze i u ostalim šumama u regiji.

Svrha je ovoga istraživanja utvrditi energijsku vrijednost navedenih vrsta drveća na različitim visinama debla i u različitim dijelovima stabla (drvo, kora) kako bi se vidjele razlike koje su posljedica različite stanične strukture.

Materijal je istraživanja prikupljen iz nekoliko područja Republike Makedonije, a za svaku je istraživanu vrstu materijal prikupljen na dvjema različitim lokacijama različitih ekoloških uvjeta. Gustoća drva istraživanih vrsta drveća također je utvrđena s obzirom na lokalne uvjete i uspoređena s dostupnim vrijednostima za ostale države. U radu je prikazan harmonizirani pristup utvrđivanju energijskoga potencijala različitih vrsta drveća eliminacijom utjecaja nejednakih ekoloških uvjeta rasta.

Rezultati istraživanja pokazuju da četinjače imaju veću energijsku vrijednost nego listače te da je navedena razlika energijske vrijednosti signifikantna. Nisu utvrđene signifikantne razlike u energijskom potencijalu različitih dijelova stabla (na 1,3 m i 5,3 m, grane), osim za koru. Energijski potencijal istraživanih vrsta drveća značajan je i uz određene promjene u pridobivanju drva te u procesu transformacije energije drva u ostale oblike energije (toplinu, električnu energiju itd.) respektabilna je osnova za unapređenje energetske bilance države alternativnim, obnovljivim i okolišno pogodnim izvorom energije.

Ključne riječi: biomasa, kalorična vrijednost, alternativni izvori energije

Authors' address – Adresa autorâ:

Prof. Ljupčo Nestorovski, PhD.*
e-mail: nestorovski@sf.ukim.edu.mk

Assist. prof. Zdravko Trajanov, PhD.
e-mail: ztrajanov@sf.ukim.edu.mk

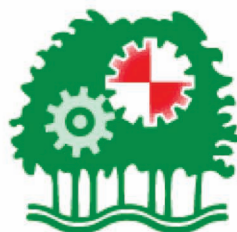
Prof. Pande Trajkov, PhD.
e-mail: ptrajkov@sf.ukim.edu.mk
Ss. Cyril and Methodius University in Skopje
Faculty of forestry
16 Makedonska brigada 1
1000 Skopje
MACEDONIA

Prof. Mitko Nacevski, PhD.
e-mail: nacevski@fdtme.ukim.edu.mk
Ss. Cyril and Methodius University in Skopje
Faculty of Design and Technologies of Furniture and Interior
Bul. Aleksandar Makedonski bb
1130 Skopje
MACEDONIA

*Corresponding author – Glavni autor

Received (Primljeno): February 5, 2014

Accepted (Prihvaćeno): April 8, 2014



HRVATSKA KOMORA
INŽENJERA ŠUMARSTVA
I DRVNE TEHNOLOGIJE

Prilaz Gjure Deželića 63, 10000 Zagreb

Telefon: ++385(1)376-5501

Telefax: ++385(1)376-5504

e-mail: info@hkisdt.hr

www.hkisdt.hr

Stručno usavršavanje članova HKIŠDT

Članovi HKIŠDT imaju pravo i obvezu stalno se stručno usavršavati. 25. studenoga 2013. godine počelo je teći drugo petogodišnje razdoblje obveze stručnoga usavršavanja za sve ovlaštene inženjere šumarstva, zaključno s upisnim brojem 757, te ovlaštene inženjere drvne tehnologije, zaključno s brojem upisa 50. Za sve ostale, s većim upisnim brojem, petogodišnje razdoblje počelo je teći s danom upisa.

Pravilnik o stručnom usavršavanju propisuje obvezu stjecanja najmanje 20 bodova u petogodišnjem razdoblju, od čega najmanje 4 boda iz poznavanja zakonske regulative iz područja šumarstva i drvne tehnologije, te najmanje 3 boda godišnje.

Plan stručnoga usavršavanja za 2014. godinu, na temelju prijedloga Odbora za stručno usavršavanje, donijelo je Vijeće Komore na sjednici održanoj 20. veljače 2014. godine:

R.br.	Naziv teme, predavanja/seminara	Izvoditelj
1.	EU fondovi u šumarstvu (R)	Domagoj Troha, HŠ
2.	Biološko-ekološke značajke te bioprodukcijski i energetski potencijal amorfe (R)	prof.dr.sc. Ante P.B.Krpan; dr.sc. Željko Tomašić
3.	Elaborat radišta – operativno planiranje pridobivanja drva (R)	prof.dr.sc. Tomislav Poršinsky; ŠF; Mladen Slunjski, HŠ
4.	Nova znanstvena dostignuća u istraživanju uzročnika zoonoza u šumskim ekosustavima Hrvatske (R)	prof.dr.sc. Josip Margaletić, ŠF
5.	Kestenova osa šiškarica s osvrtom na pojavu, biologiju, štetnost i širenje na području UŠP Koprivnica (R)	mr. Krunoslav Arač, HŠ
6.	Sustav osiguranja kakvoće šumskih čvrstih biogoriva	izv.prof.dr.sc. Željko Zečić; dr.sc. Dinko Vusić, ŠF
7.	Važnost i uloga marketinga u šumarstvu (R)	prof.dr.sc. Stjepan Posavec, ŠF
8.	Učinkovito pridobivanje drvne sječke (R)	dr.sc. Dinko Vusić, ŠF
9.	Procjena vitalnosti stabala za potrebe unaprijeđenja doznake stabala (R)	izv.prof.dr.sc. Ilica Tikvić, ŠF; Vlatko Petrović, HŠ
10.	Mehanizirana uspostava šumskoga reda s pridobivanjem energijskoga drva (UŠP Vinkovci)(R)	dr.sc. Zdravko Pandur; prof.dr.sc. Dubravko Horvat, ŠF; Stjepan Nikolić, HŠ
11.	Debljina kore pri preuzimanju drva (R)	prof.dr.sc. Tomislav Poršinsky, ŠF
12.	Utjecaj propisnosti mjerenja oblovinu na transport drva (R)	prof.dr.sc. Tomislav Poršinsky, ŠF
13.	Tržište primarnih i sekundarnih drvnih proizvoda RH (R)	prof.dr.sc. Darko Motik, ŠF
14.	Normativni okvir za čvrsta biogoriva i međunarodno tržište (R)	izv.prof.dr.sc. Željko Zečić; dr.sc. Dinko Vusić, ŠF
15.	Šumski reprodukcijski materijal (ŠRM) i zakonska legislativa u oplemenjivanju i očuvanju genetske raznolikosti šumskog drveća (R)	dr.sc. Mladen Ivanković; dr.sc. Tibor Littvay; dr.sc. Maja Gradečki Poštenjak; Maja Popović, Robert Licht – HŠI
16.	Šumski reprodukcijski materijal (ŠRM) kao osnova stabilnosti i adaptabilnosti šumskih nasada – proizvodnja i primjena (R)	dr.sc. Sanja Perić i Martina Tijardović, HŠI
17.	Uzročnici šteta i statička stabilnost drveća u urbanom prostoru (R)	dr.sc. Milan Pemek, HŠI
18.	Invazivne vrste kukaca u šumama i opasnosti za hrvatsko šumarstvo (R)	dr.sc. Dinka Matošević, HŠI
19.	Monitoring šumskih ekosustava (R)	dr.sc. Tamara Jakovljević, HŠI
20.	Tla šumskih ekosustava Hrvatske i korištenje kartografskih podataka za njihovo bonitiranje (R)	dr.sc. Boris Vrbek, HŠI
21.	Aktualnosti u propisima – šumarstvo (R)	prof.dr.sc. Ivan Martinić, ŠF
22.	Natura 2000 u šumarstvu RH – koncept i mjere provedbe (R)	mr.sc. Dubravko Janeš, HŠ; prof.dr.sc. Ivan Martinić, ŠF
23.	Uvjeti i način kretanja roba i usluga u području šumarstva, lovstva i drvne industrije nakon ulaska RH u članstvo EU	poziv HKIŠDT
24.	Aktualnosti u području lovstva	poziv HKIŠDT
25.	Obrazovanje u sektoru	poziv HKIŠDT
26.	Međunarodni ugovori i obveze RH u sektoru šumarstva	poziv HKIŠDT

* HŠ – Hrvatske šume d.o.o. Zagreb; HKIŠDT – Hrvatska komora inženjera šumarstva i drvne tehnologije;

ŠF – Šumarski fakultet Zagreb; HŠI – Hrvatski šumarski institut Jastrebarsko;

(R) – predviđeno organiziranje kroz više regionalnih seminara/predavanja.



PROFESIONALNI SUSTAV ZA PRAĆENJE VOZILA I STROJEVA TE ORGANIZACIJU VOZNOG PARKA



MOBILISIS

Varaždinska ulica 8, II. odvojak, 42000 Varaždin-Jalkovec, Hrvatska,
t. +385 42 311 777, m. +385 91 123 000, w. www.mobilisis.hr,
e. info@mobilisis.hr

PARK
d.o.o.

PARK d.o.o.
za proizvodnju, promet i usluge
Tomislavova 64, 48 260 Križevci
tel: +385 (0)48 271 070
mob: +385 (0)98 17 44 062
email: parkdoo@optinet.hr

FAUNUS SELVA

*Poduzeće za gospodarenje šumama i proizvodnju piljene
hrastove građe*



FAUNUS
SELVA

Frana Supila 7 10000 Zagreb

T. 00385 1 6055 316

M. 00385 98 236 722



Lučička Cesta 3
Delnice

tel: 051 508 196

fax: 051 508 197

gecgp@gecgp.hr

www.gecgp.hr



Proizvodni program:

Drvena građa

Letve i elementi

Vanjske i unutarnje obloge

Vrtni namještaj

Biomasa

Impregnacija



M-Tronic. Inovacija u Vašim rukama

Motorna pila STIHL MS 661 C-M serijski je opremljena s M-Tronic elektroničkim upravljanjem motorom. Mikroprocesorska kontrola svih faza pokretanja i rada uređaja koju obavlja ovaj revolucionarni sklop, omogućuje neusporedivo mirniji, štedljiviji i učinkovitiji rad motorne pile. M-Tronic je kontrolni modul već otprije poznat profesionalnim korisnicima STIHL motornih pila, a sad je našao svoje mjesto i u opremi motorne pile namijenjene najtežim i najzahtjevnijim poslovima u šumi.

Posavjetujte se s Vašim ovlaštenim STIHL serviserom i saznajte koje su sve prednosti koje objedinjuje ovaj zanimljivi novitet.

STIHL MS 661 C-M



unikomercuVOZ

www.unikomerc-uvoz.hr





- **šumarske dizalice** **PALFINGER EPSILON**
- **dizalice** **PALFINGER**
- **izada kiperi i kamionskih sanduka**
- **izrada šumarskih platformi**
- **samopodizači i navlakači kontejnera** **PALFINGER PALIFT**
- **utovarne rampe Palfinger** **MBB PALFINGER**
- **ostale kamionske hidraulične nadogradnje**
- **građevinske prikolice**
- **šumarske prikolice**
- **poluprikolice**
- **kontejneri**



PK d.o.o. Centrala Rijeka • Industrijska zona R - 27 • HR - 51223 Škrlevo • Tel. +385 51 503 150 • Fax. +385 51 252 002
 Poslovni centar Zagreb • Industrijska 5 • HR - 10370 Dugo Selo • Tel. +385 1 2754 219 • Fax. +385 1 2754 606
www.pk-rijeka.hr • info@pk-rijeka.hr

SADRŽAJ – CONTENTS

Znanstveni radovi – Research articles

Tomislav Poršinsky, Andreja Đuka, Ostoja Busić

Utjecaj propisnosti mjerenja oblovine na transport drva 1
Influence of Prescribed Method of Roundwood Scaling on Timber Transport

Milorad Danilović, Dušan Stojnić, Slavica Karić, Milan Sučević

Transport of Technical Roundwood by Forwarder and Tractor Assembly from Poplar Plantations 11
Transport tehničke oblovine pomoću forvardera i traktorske ekipe iz topolovih plantaža

Zdravko Pandur, Tomislav Poršinsky, Marijan Šušnjar, Marko Zorić, Dinko Vusić

Gaženje tla pri izvoženju drva forvarderom u sječinama hrasta lužnjaka 23
Soil Disturbance during Timber Forwarding in Cut-Blocks of Common Oak

Milorad Danilović, Dragomir Grujović, Boban Milovanović, Slavica Karić

Ocjena modificirane poludeblovne metode listača s dijelovima krošnje 35
Evaluation of Modified Half-Tree Length Method of Broadleaves with Crown Parts

Dane Marčeta, Vladimir Petković, Boštjan Košir

Comparison of Two Skidding Methods in Beech Forests in Mountainous Conditions 51
Usporedba dviju metoda privlačenja drva u bukovim brdsko-planinskim šumama

Tibor Pentek, Hrvoje Nevečerel, Tomislav Ecimović, Krno Lepoglavec, Ivica Papa, Željko Tomašić

Strategijsko planiranje šumskih prometnica u Republici Hrvatskoj – raščlamba postojećega stanja kao podloga za buduće aktivnosti 63
Strategic Planning of Forest Road Network in Croatia – Analysis of Present Situation as Basis for Future Activities

Vladimir Petković, Dane Marčeta, Igor Potočnik

Horizontal and Vertical Alignments of Forest Roads 79
Horizontalni i vertikalni konstruktivni elementi šumskih cesta

Marko Zorić, Marijan Šušnjar, Zdravko Pandur, Kristijan Mihaljević

Potrošnja goriva i emisija stakleničkih plinova pri kamionskom prijevozu drva u hrvatskom šumarstvu 89
Fuel Consumption and Greenhouse Gas Emission in Timber Haulage in Croatian Forestry

Ljupčo Nestorovski, Mitko Nacevski, Zdravko Trajanov, Pande Trajkov

Analysis of Energy Value of Some Tree Species 99
Analiza energijskih vrijednosti nekih vrsta drveća

ISSN 1845-8815



9 17 7 1 8 4 5 1 8 8 1 5 0 5 1