

Pridobivanje drva u smrekovoj šumskoj kulturi – Sortimentna ili stablovna metoda?

Dinko Vusić, Željko Zečić, Zdravko Pandur, Luka Kasumović, Dalibor Šegota

Nacrtač – Abstract

Istraživanje je provedeno radi utvrđivanja ekonomskoga učinka zamjene djelomično mehaniziranoga sustava pridobivanja obloga drva sortimentnom metodom sustavom pridobivanja drvene sječke stablovnom metodom u uvjetima neprorjeđivane šumske kulture obične smreke.

U sortimentnoj metodi (M1) stabla su nakon obaranja izrađena u drvene sortimente (oblo drvo) koji su privučeni na pomoćno stovarište, a u stablovnoj metodi (M2) stablovina je nakon obaranja stabala privučena na pomoćno stovarište i naknadno iziverana. Ručno-strojna sječa i izrada stabala obavljena je motornom pilom, a privlačenje je obavljeno skiderom. Sustav pridobivanja drva stablovnom metodom upotpunjen je iveračem za izradu drvene sječke na pomoćnom stovarištu.

Sinergija zakonitosti obujma komada i zakonitosti vrste proizvoda očita je u sustavu pridobivanja drvene sječke stablovnom metodom. Izostanak kresanja grana, prikrajanja, trupljenja i preuzimanja vojetovao je značajno smanjenje utroška efektivnoga vremena po stablu, ali i izradu jednakovrsnih poluproizvoda (stablovine) relativno velikoga obujma komada. Isto je omogućilo povećanje proizvodnosti privlačenja skiderom, a izradu krajnjega proizvoda svelo na postupak iveranja. Zbog navedenoga je istraživani sustav pridobivanja drvene sječke poprimio značajke visoko mehaniziranoga sustava. Tako postignuta racionalizacija rada rezultirala je smanjenjem troškova podsustava ručno-strojne sječe i izrade i troškova podsustava privlačenja u tolikoj mjeri da je omogućeno uvođenje iverača u sustav pridobivanja uz istodobno smanjenje ukupnoga troška sustava za prosječno 7,16 % u usporedbi sa sustavom pridobivanja oblovine sortimentnom metodom.

Sustav pridobivanja oblovine sortimentnom metodom omogućuje ostvarivanje dobiti u uvjetima istraživane sječine do zaključno 590 m udaljenosti privlačenja, uz pretpostavku postojanja potražnje za stupovima za vodove na tržištu. Na istoj udaljenosti privlačenja sustav pridobivanja drvene sječke stablovnom metodom može konkurirati sustavu pridobivanja oblovine sortimentnom metodom kada cijena drvene sječke, kakvoće P45B, M55, A5.0, proizvedene od smrekove stablovine, premaši 421,38 kn/t standardno suhe drvene sječke. U slučaju nepostojanja potražnje za stupovima za vodove pridobivanje drva sortimentnom metodom u uvjetima istraživane sječine rezultirat će novčanim gubitkom na svim promatranim udaljenostima privlačenja.

Kao alternativu sustavu pridobivanja oblovine sortimentnom metodom, u uvjetima istraživane sječine, s troškovnoga je aspekta pogodnije koristiti sustav pridobivanja drvene sječke stablovnom metodom, ali treba imati na umu da će ekonomska isplativost navedenoga sustava uvelike ovisiti i o mogućnosti postizanja odgovarajuće cijene za proizvedenu drvenu sječku.

Ključne riječi: jedinični trošak, oblo drvo, drvena sječka

1. Uvod – Introduction

Povijest smrekovih šumskih kultura u Republici Hrvatskoj može se, s obzirom na njihov položaj u šumarskoj strategiji, podijeliti na tri jasno odvojena

razdoblja u kojima vladaju bitno različiti koncepti gospodarenja tim sastojinama (Vusić 2013).

Planski rad na povećanju udjela četinjača u šumskom fondu Hrvatske započeo je oko 1960. godine

(Oršanić 1994). Šumske se kulture uglavnom osnivaju namjenski radi osiguranja kontinuirane dobave sirovine drvnjoj industriji, najčešće tvornicama za preradu celuloze i proizvodnju papira. Osnovni je cilj proizvodnja što veće količine drva po jedinici površine u što kraćem vremenu (Mudrenović i Bajić 1985). S obzirom na to određena je ophodnja i propisani su intenzitet i načini provođenja proreda.

Tek u razdoblju kada većina novopodignutih šumskih kultura dolazi u dob prve prorede do punoga izražaja dolazi problematika pridobivanja drva. Izostanak potpunoga mehaniziranja radova sječe i izrade uvjetuje jedinične troškove koje proizvedeno celulozno drvo teško može pokriti prodajnom cijenom. Osim toga, tvornice za preradu celuloze smanjuju proizvodnju, a pojedine i prestaju raditi pa se potražnja za celuloznim drvom smanjuje. Zbog toga se prve prorede uglavnom odgađaju, a šumske se kulture nastavljaju spontano razvijati. Pojedina stabla odumiru, a drvena se zaliha većinom akumulira na velikom broju tankih stabala. Nakon toga u namjenski podignutim šumskim smrekovim kulturama ophodnja se podiže na 80 godina i one postaju pretkulture radi stvaranja uvjeta za povratak autohtonih vrsta šumskoga drveća i stvaranja prirodnoga šumskoga ekosustava.

Zbog velikoga početnoga broja biljaka, izostanka proreda i dostignute dobi šumske kulture obične smreke postaju nestabilne i počinju se sušiti. Daljnja neodgodivost provođenja šumsko-uzgojnih radova poklopila se s jedne strane s povećanom potražnjom za energijskim drvom, a s druge strane s uvođenjem vrhunskih tehnologija u hrvatsko šumarstvo.

Povećana se potražnja za energijskim drvom djelomično može zadovoljiti i korištenjem cijelih smrekovih stabala manjih dimenzija, odnosno tehnički neuporabljivih dijelova smrekovih stabla uz ostvarivanje odgovarajućega prihoda. Potpuno mehanizirani sustavi pridobivanja drva primjenom primjerice harvester-a za sječu i izradu stabala, forvardera za izvoženje izrađenih drvnih sortimenata i iverača za proizvodnju drvene sječke jamče proizvodnju toliko željenoga biogoriva uz prihvatljive troškove. No, danas se u Hrvatskoj drvo još uvijek najčešće pridobiva djelomično mehaniziranim sustavima. Primjena harvestera u našim je šumama ograničena njihovim pretežno prirodnim podrijetlom, vrstom drveća i dimenzijama stabala, makroreljefom i mikroreljefom te metodama uzgajanja i uređivanja šuma (Krpan i Poršinsky 2001). Osim toga, često i u sječinama u kojima bi primjena potpuno mehaniziranih sustava pridobivanja drva bila očekivano optimalna, primjerice u šumskim crnogoričnim kulturama, njihovu uporabu ograničava zakon obujma proizvodnje (Grammel 1988). Naime, prostorna frag-

mentiranost navedenih sastojina, ali i vremenska fragmentiranost sječina u sjekoredu na razini šumsko-gospodarskoga područja često onemogućuje koncentraciju količine doznačenoga drva u sječini koja bi bila dostatna da pokrije trošak selidbe strojeva između radilišta. Stoga, pri očekivanom porastu potražnje za energijskim drvom, treba računati i na uporabu strojeva djelomično mehaniziranih sustava pridobivanja drva, ali i na nužnost promjene metoda pridobivanja drva radi optimalne prilagodbe uvjetima sječine da bi se snizili troškovi proizvodnje i povećala iskorištenost nadzemne biomase stabala.

U ovom je radu postavljen cilj da se utvrde ekonomski učinci zamjene djelomično mehaniziranoga sustava pridobivanja obloga drva sortimentnom metodom sustavom pridobivanja drvene sječke stablovnom metodom, u uvjetima neprorjeđivane šumske kulture obične smreke.

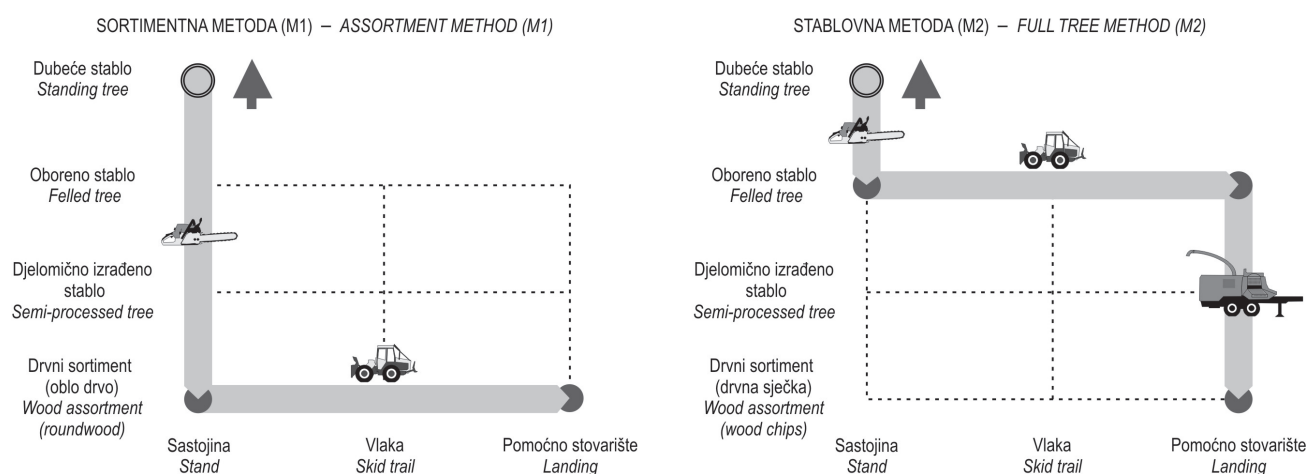
2. Materijal i metode – *Material and Methods*

2.1 Mjesto i materijal istraživanja – *Study area and material*

Istraživanje je provedeno u odsjeku 20 A (44°37' N, 15°19' E; n. v. 573 m; nagib 0–5°) gospodarske jedinice »Žitnik« kojom gospodari Šumarija Perušić Uprave šuma Podružnice Gospić trgovačkoga društva »Hrvatske šume« d.o.o. Zagreb. Istraživana smrekova šumska kultura starosti 42 godine osnovana je sadnjom sadnica u redove s razmakom sadnje 2 × 2 m. Stablama nisu orezivane grane, a prva je proreda sječom dvostrukih redova provedena tijekom ovoga istraživanja. Prosječni prsni promjer istraživanih stabala iznosio je 17 ± 5 cm, a prosječna je visina iznosila 17,7 ± 3,0 m. Primarni se transport odvijao po sječini (prethodno posjećenim redovima) i vlaki duljine 520 m, a pomoćno se stovarište nalazilo uz šumsku cestu.

Sukladno ciljevima istraživanja formirana su dva sustava kojima je drvo pridobivano sortimentnom, odnosno stablovnom metodom. U sortimentnoj metodi (M1) stabla su nakon obaranja izrađena u drvene sortimente (oblo drvo) koji su privučeni na pomoćno stovarište, a u stablovnoj metodi (M2) stablovina je nakon obaranja stabala privučena na pomoćno stovarište i naknadno iziverana (slika 1). Ručno-strojna sječa i izrada stabala obavljena je motornom pilom, a privlačenje je obavljeno skiderom. Sustav pridobivanja drva stablovnom metodom upotpunjen je iveračem za izradu drvene sječke na pomoćnom stovarištu.

Ručno-strojna sječa i izrada obavljena je profesionalnom motornom pilom STIHL MS 440 snage 4,0 kW,



Slika 1. Funkciogrami (Erler i Dög 2009) istraživanih sustava pridobivanja

Fig. 1 Functiograms (Erler and Dög 2009) of the investigated harvesting systems

mase (bez vodilice i lanca) 3,6 kg i duljine vodilice 40 cm. Motorna pila STIHL MS 440, kao nasljednica motorne pile STIHL 044, zajedno sa snažnijom motorom pilom STIHL MS 660 čini okosnicu sredstava ručno-strojne sječe u hrvatskom državnom šumarstvu. Privlačenje drvnih sortimenata (obloga drva) i stablovine obavljeno je prorednim skiderom Ecotrac 55V hrvatske proizvodnje. Duljina skidera iznosi 4 550 mm, širina 1 600 mm, visina 2 490 mm, a masa 3 600 kg. Nazivna snaga motora iznosi 40 kW pri 2 300 min⁻¹. Opremljen je dvobubanjnim mehaničkim vitlom Hittner nazivne vučne sile 2 × 35 kN. Istraživani je skider osnovno sredstvo rada u hrvatskom državnom šumarstvu za privlačenje obloga drva iz sječina prethodnoga prihoda prigorskih šuma. Iveranje je obavljeno vučenim bubanjnim iveračem Jenz Hem 561 DQ mase 13 300 kg, pogonjenim vlastitim motorom snage 360 kW. Dimenzije otvora iverača iznose 650 × 1 000 mm, a deklarirani maksimalni promjer obloga drva iznosi 42 cm za tvrdo drvo, odnosno 56 cm za meko drvo. Bubanj iverača promjera 820 mm opremljen je sa standardnih 10 sječiva. Tijekom iveranja korišteno je sito dimenzija otvora 35 × 35 mm. Pomicanje iverača po pomoćnom stovarištu i posluživanje iverača tijekom iveranja obavljeno je šumskim kamionom Iveco Trakker 440, snage 324 kW (pri 1 900 min⁻¹), opremljenim dizalicom Palfinger E110Z81 deklariranoga neto podiznoga momenta od 101 kNm s najvećim dosegom od 8,1 m.

2.2 Metode – Methods

Proizvodnost pojedinih strojeva u sustavima pridobivanja drva istraživana je primjenom studija rada i vremena, uvažavajući dosadašnju tradiciju istraži-

vanya šumskoga rada u Republici Hrvatskoj (Tomanić 1974, Vondra 1991, Krpan 1992, Zečić 2003, Poršinsky 2005, Stankić 2010).

Za osnovnu jedinicu praćenja radnoga procesa odabrano je kod ručno-strojne sječe i izrade stablo, kod primarnoga transporta turnus privlačenja, a kod iveranja tovar sredstva daljinskoga transporta.

Rad podsustava pridobivanja drva (ručno-strojne sječe i izrade, privlačenja i iveranja) sniman je povratnom metodom kronometrije, upotrebom kronometra s centiminutnom podjelom. Utrošci efektivnoga vremena i utrošci vremena prekida evidentirani su u odgovarajuće snimačke listove. Raščlamba utroška efektivnoga vremena na radne zahvate obavljena je prilikom snimanja prema prethodno jasno definiranim fiksaznim točkama. Utrošci vremena prekida detaljno su opisani u snimačkom listu i naknadno grupirani. Pri istraživanju podsustava ručno-strojne sječe i izrade evidentirani su prsni promjeri stablima uzorka. Za pojedine turnuse privlačenja izmjerene su i zabilježene udaljenosti vožnji te podaci o tovaru.

Drvena je sječka uzorkovana tijekom iveranja usmjeravanjem tijekom drvene sječke s tovarnoga prostora kamiona na mjesto uzorkovanja u jednoličnim intervalima. Za jedinicu uzorkovanja odabran je kamionski tovar drvene sječke. Granulometrijska struktura drvene sječke određena je prema normi HRN EN 15149-1:2010, maseni udio vode prema normi HRN EN 14774-2:2010, maseni udio pepela prema normi HRN EN 14775:2010, a klasifikacija u razrede kakvoće obavljena je prema normi HRN EN 14961-1:2010.

Količine proizvedene drvene sječke utvrđene su na temelju razlika bruto i tara odvaga transportnih sred-

stava na kolnoj vagi. Preračun količina drvene sječke u tonama prilikom dostave (odvage) u količine standardno suhe drvene sječke u tonama obavljen je prema utvrđenim masenim udjelima vode za svaki pojedini tovar.

Rezultati terenskih istraživanja proizvodnosti sustava pridobivanja obrađeni su na trima razinama. Na prvoj su razini matematičko-statističkim metodama uspoređene razlike u utrošcima vremena radnih zahvata podsustava s obzirom na primijenjenu metodu. Na drugoj su razini obavljene regresijske analize ovisnosti utrošaka varijabilnih vremena o glavnim utjecajnim čimbenicima te izračunate prosječne vrijednosti utrošaka ostalih efektivnih vremena, a na trećoj su konstruirani matematički modeli za izračun proizvodnosti (Vusić 2013). Kako s obzirom na udaljenost sječine od pomoćnoga stovarišta nije bilo moguće istražiti vožnju skidera po vlaci i sječini na udaljenostima do 500 m, u modelu za izračun proizvodnosti nisu korištene originalne regresijske jednadžbe izjednačenja utroška vremena o udaljenosti za sve radne zahvate vožnje već su korištene odnosne regresijske jednadžbe koje se koriste za izračun proizvodnosti skidera Ecotrac 55V pri radu u državnim šumama Republike Hrvatske (Zević i Vusić 2009).

Proizvodnost ručno-strojne sječe i izrade iskazana je ostvarivim brojem stabala u radnom danu, a proizvodnost privlačenja ostvarivim brojem turnusa privlačenja također po radnom danu. Za preračun proizvodnosti ručno-strojne sječe i izrade sortimentnom metodom u jedinice obujma (m^3) i proizvodnosti ručno-strojne sječe i izrade stablovnom metodom u masene jedinice (t) korišteni su matematički algoritmi ovisnosti neto obujma sortimenata, odnosno ovisnosti nadzemne (standardno suhe) biomase o prsnom promjeru stabla konstruirane na temelju istraživanja provedenoga u istoj sječini (Vusić 2013). Preračun proizvodnosti privlačenja u obujamne i masene jedinice obavljen je temeljem prosječnoga (neto) obujma tovara u sortimentnoj metodi, odnosno prosječne (standardno suhe) mase tovara u stablovnoj metodi. Proizvodnost iveranja iskazana je prosječnom normom vremena.

Za izračun izravnih troškova (iskazanih bez poreza na dodanu vrijednost) strojnoga rada istraživanih sredstava rada primijenjena je modificirana FAO metoda kalkulacije troška (FAO 1992), a primarno su korišteni dostupni podaci izvođača radova. Kalkulativni izravni trošak ručno-strojne sječe i izrade iznosio je 86,61 kn/h, kalkulativni trošak privlačenja 166,67 kn/h, a kalkulativni trošak iveranja 1 023,50 kn/h (Vusić 2013). Jedinični troškovi na razini stabla izračunati su temeljem izjednačenih vrijednosti neto obujma sorti-

menata, odnosno nadzemne (standardno suhe) biomase za pojedini debljinski stupanj i odnosnih jediničnih troškova po jedinici obujma, odnosno mase.

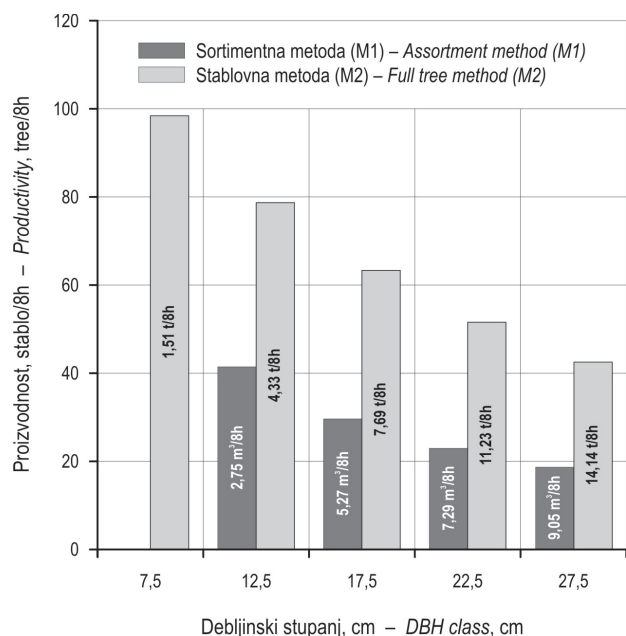
Novčana vrijednost stabla pojedinoga debljinskoga stupnja utvrđena je na temelju postotnoga udjela pojedinih drvnih sortimenata, izrađenih sukladno normama za razvrstavanje drva po namjeni (Anon. 1989), u neto obujmu stabala promatranoga debljinskoga stupnja i odnosnih jediničnih cijena drvnih sortimenata franko šumska cesta (Anon. 2012). Novčana je analiza vrijednosti stabala provedena s obzirom na pretpostavljenu konjunkturu stupova za vodove (TT), koji su prema važećem cjeniku (Anon. 2012) drvni sortimenti vrijednosti veće nego pilanski trupci (PT) prve klase. U prvom slučaju vrijednost stabala izračunata je s pretpostavkom nepostojanja potražnje za stupovima za vodove (PT+CD), a u drugom slučaju s pretpostavkom postojanja potražnje za stupovima za vodove (PT+TT+CD). U oba se slučaja pretpostavlja izrada celuloznoga drva (CD) iz deblvine odgovarajuće kakvoće.

3. Rezultati – Results

3.1 Analiza proizvodnosti na razini podsustava *Analysis of productivity on subsystem level*

Tijekom jedanaest dana istraživanja ručno-strojne sječe i izrade snimljeno je ukupno 3 460,63 min utroška vremena. Od toga je 2 427,46 min (70,15 %) evidentirano pri istraživanju sortimentne metode, a 1 033,17 min (29,85 %) evidentirano je pri istraživanju stablovne metode. Tijekom istraživanja ukupno je posječeno 236 stabala. Od toga je 107 stabala izrađeno sortimentnom metodom. Prosječni je ostvareni utrošak vremena po jednom stablu iznosio 22,69 min za sortimentnu metodu, dok je za stablovnu metodu, ponajprije zbog izostanka kresanja grana, prikrajanja, trupljenja i preuzimanja, iznosio gotovo trostruko manje, samo 8,01 min.

Proizvodnost podsustava ručno-strojne sječe i izrade stablovnom metodom za osmosatno radno vrijeme kreće se od 98,2 stabla po radnom danu za debljinski stupanj 7,5 cm, što čini samo 1,51 t standardno suhe biomase, do 42,1 stablo, odnosno 14,14 t standardno suhe biomase po radnom danu za debljinski stupanj 27,5 cm. Proizvodnost ručno-strojne sječe i izrade sortimentnom metodom za osmosatno radno vrijeme kreće se od 41,0 stabala ($2,75 m^3$) po radnom danu za debljinski stupanj 12,5 cm do 18,2 stabla ($9,05 m^3$) za debljinski stupanj 27,5 cm. Za srednji debljinski stupanj istraživane sječine (17,5 cm) proizvodnost ručno-strojne sječe i izrade stablovnom metodom, iskazana ostvarivim bro-



Slika 2. Proizvodnost podsustava ručno-strojne sječe i izrade
Fig. 2 Productivity of motor-manual felling and processing subsystem

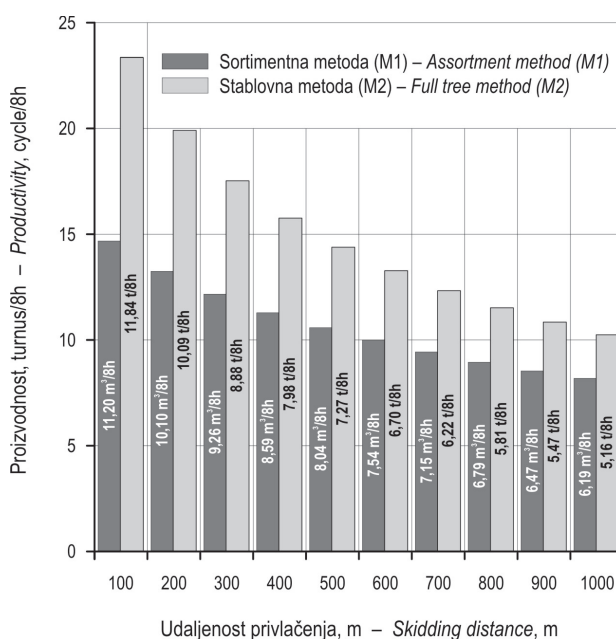
jem stabala u osmosatnom radnom vremenu, veća je za 115,80 % od proizvodnosti ručno-strojne sječe i izrade sortimentnom metodom (slika 2).

Tijekom devet dana istraživanja rada skidera na privlačenju snimljeno je ukupno 3 025,60 min utroška vremena. Od toga je 1 609,38 min (53,19 %) evidentirano pri istraživanju sortimentne metode, a 1 416,22 min (46,81 %) evidentirano je pri istraživanju stablovne metode. Skiderom je tijekom istraživanja ukupno ostvareno 55 turnusa privlačenja, od toga 26 turnusa sortimentnom metodom i 29 turnusa stablovnom metodom. Prosječni je ostvareni utrošak vremena po jednom turnusu privlačenja sortimentnom metodom iznosio 61,90 min, za srednju udaljenost privlačenja od 803 m

po vlaci i sječini i 80 m po pomoćnom stovarištu. U stablovnoj je metodi, za srednju udaljenost privlačenja od 616 m po vlaci i sječini i 42 m po stovarištu, prosječni ostvareni utrošak vremena po jednom turnusu privlačenja iznosio 48,84 min.

U tovaru skidera nalazilo se, u sortimentnoj metodi, prosječno 0,77 m³ neto obujma oblovine, a prosječno se sastojao od 7,8 ± 2,4 komada obloga drva prosječnoga obujma 0,099 m³ (tablica 1). Tovar se skidera u stablovnoj metodi u prosjeku sastojao od 4,5 ± 1,3 stabla koja su činila prosječno 0,51 t standardno suhe biomase.

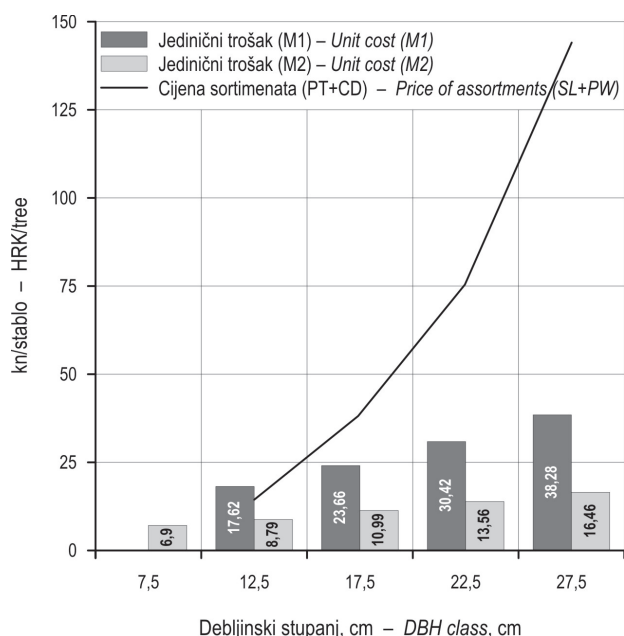
Proizvodnost podsustava privlačenja skiderom stablovnom metodom u usporedbi sa sortimentnom metodom, na razini ostvarivih turnusa privlačenja, veća je



Slika 3. Proizvodnost podsustava privlačenja
Fig. 3 Productivity of skidding subsystem

Tablica 1. Opisna statistika broja komada i obujma komada u tovaru skidera
Table 1 Descriptive statistics of number of pieces and piece volume in skidder load

Varijabla Variable	Uzorak Sample	Aritmetička sredina Mean	Najmanja vrijednost Minimum	Najveća vrijednost Maximum	Standardna devijacija Standard deviation	Standardna pogreška Standard error
Broj komada – M1 Number of pieces – M1	26	7,8	2	12	2,4	0,5
Broj komada – M2 Number of pieces – M2	29	4,5	1	8	1,3	0,2
Obujam komada – M1, m ³ Piece volume – M1, m ³	203	0,099	0,010	0,390	0,073	0,005



Slika 4. Jedinični troškovi podsustava ručno-strojne sječe i izrade
Fig. 4 Unit costs of motor-manual felling and processing subsystem

od 59,62 % kod 100 m srednje udaljenosti privlačenja po vlaci i sječini do 25,99 % kod 1 000 m srednje udaljenosti privlačenja po vlaci i sječini. Sortimentom metodom moguće je u radnom danu privući od 11,20 m³ sa 100 m srednje udaljenosti privlačenja po vlaci i sječini do 6,19 m³ neto obujma obloga drva s 1 000 m srednje udaljenosti privlačenja po vlaci i sječini. Stablovnom metodom u radnom je danu moguće privući od 11,84 t standardno suhe biomase sa 100 m srednje udaljenosti privlačenja po vlaci i sječini do 5,16 t standardno suhe biomase s 1 000 m srednje udaljenosti privlačenja po vlaci i sječini (slika 3).

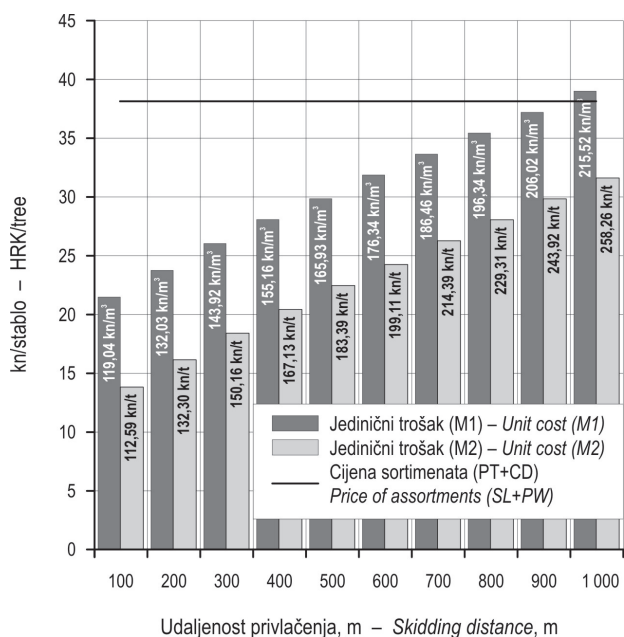
Istraživanjem je obuhvaćeno ukupno 8 turnusa (kamionskih tovara) iveranja u kojima je proizvedena drvena sječka granulometrijske strukture P45B, udjela vode M55 i udjela pepela A5.0. Utvrđena je prosječna norma vremena u iznosu 7,84 ± 1,70 min/t standardno suhe drvene sječke, odnosno proizvodnost od 7,65 t/h.

3.2 Analiza jediničnoga troška na razini podsustava – Analysis of unit cost on subsystem level

Vrijednost oblovine (u slučaju izostanka potražnje za stupovima za vodove) koja se može proizvesti iz jednoga stabla kreće se od 14,16 kn/stablo za debljinski stupanj 12,5 cm do 144,11 kn/stablo za debljinski stupanj 27,5 cm (slika 4). Trošak je podsustava ručno-strojne sječe i izrade sortimentnom metodom za debljinski stupanj 12,5 cm 24,44 % veći od vrijednosti

oblovine koju je moguće proizvesti, a u debljinskom stupnju 27,5 cm trošak ručno-strojne sječe i izrade sortimentnom metodom čini 26,56 % vrijednosti oblovine. U istom promatranom rasponu debljinskih stupnjeva trošak ručno-strojne sječe i izrade stablovnom metodom, u usporedbi s troškom ručno-strojne sječe i izrade sortimentnom metodom, manji je prosječno za 54,02 %.

S obzirom na to da zakon obujma komada (Speidel 1952), osim općepoznatoga utjecaja na proizvodnost podsustava sječe i izrade, svoj utjecaj preko značajki izrađenih drvnih sortimentata nastavlja i na podsustav primarnoga transporta nužno je daljnje analize, na razini podsustava privlačenja i cjelokupnoga sustava pridobivanja drva, provoditi na temelju prosječnih uvjeta pri ručno-strojnoj sječi i izradi. Stoga je u daljnjim analizama korištena isključivo vrijednost stabla i jedinični trošak ručno-strojne sječe i izrade za prosječni debljinski stupanj (17,5 cm) stabala istraživane sječine.



Slika 5. Jedinični troškovi podsustava privlačenja
Fig. 5 Unit costs of skidding subsystem

Trošak podsustava privlačenja sortimentnom metodom na udaljenosti privlačenja 100 m čini 56,23 % vrijednosti oblovine (38,11 kn/stablo) koju je moguće proizvesti u debljinskom stupnju 17,5 cm, a na udaljenosti privlačenja 1 000 m trošak je podsustava privlačenja sortimentnom metodom za 1,78 % veći od vrijednosti oblovine. U istom promatranom rasponu udaljenosti trošak je privlačenja stablovnom metodom, u uspored-

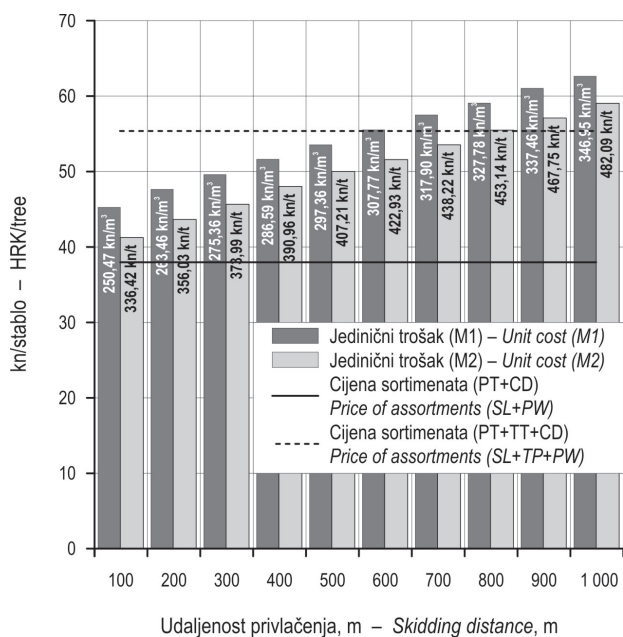
bi s troškom privlačenja sortimentnom metodom, manji prosječno za 25,43 %.

Jedinični trošak iveranja iznosi 133,72 kn/t standardno suhe drvene sječke, odnosno 16,23 kn za jedno stablo debljinskoga stupnja 17,5 cm.

3.3 Sinteza ekonomske pogodnosti na razini sustava – *Synthesis of economic suitability on system level*

Jedinični trošak sustava pridobivanja oblovine sortimentnom metodom čini trošak ručno-strojne sječe i izrade te trošak privlačenja, a jedinični trošak sustava pridobivanja drvene sječke stablovnom metodom uz trošak ručno-strojne sječe i izrade te privlačenja čini i trošak iveranja. Ukupni trošak sustava, na razini stabla, u sortimentnoj se metodi kreće od 45,09 kn/stablo za udaljenost privlačenja 100 m do 62,45 kn/stablo za udaljenost privlačenja 1 000 m i u cijelom je promatra-

potražnje za stupovima za vodove na tržištu vrijednost oblovine koju je moguće proizvesti iz jednoga stabla debljinskoga stupnja 17,5 cm raste za 17,1 kn/stablo na 55,21 kn/stablo. Naime, promjeri deblovine stabala prosječnoga debljinskoga stupnja sječine (17,5 cm) onemogućuju izradu pilanskih trupaca, ali omogućuju izradu stupova za vodove. Stoga se u slučaju izostanka potražnje za stupovima za vodove iz deblovine stabala debljinskoga stupnja 17,5 cm može izrađivati isključivo celulozno drvo, a u slučaju postojanja potražnje za stupovima za vodove uz celulozno se drvo mogu izrađivati i stupovi za vodove. Tako povećana vrijednost oblovine omogućuje ostvarivanje dobiti primjenom sustava pridobivanja oblovine sortimentnom metodom do zaključno 590 m udaljenosti privlačenja. Na istoj udaljenosti privlačenja sustav pridobivanja drvene sječke stablovnom metodom može konkurirati sustavu pridobivanja oblovine sortimentnom metodom kada cijena drvene sječke, kakvoće P45B, M55, A5.0, proizvedene od smrekove stablovine premaši 421,38 kn/t standardno suhe drvene sječke.



Slika 6. Jedinični troškovi sustava

Fig. 6 System unit costs

nom rasponu veći od vrijednosti oblovine koju je moguće proizvesti iz jednoga stabla debljinskoga stupnja 17,5 cm u slučaju izostanka potražnje za stupovima za vodove (slika 6). U istom promatranom rasponu udaljenosti trošak je sustava pridobivanja drvene sječke stablovnom metodom, u usporedbi s troškom sustava pridobivanja oblovine sortimentnom metodom, manji prosječno za 7,16 %. U slučaju postojanja

4. Rasprava – Discussion

Sinergija zakonitosti obujma komada i zakonitosti vrste proizvoda očita je u sustavu pridobivanja drvene sječke stablovnom metodom. Izostanak kresanja grana, prikrajanja, trupljenja i preuzimanja uvjetovao je značajno smanjenje utroška efektivnoga vremena po stablu, ali i izradu jednakovrsnih poluproizvoda (stablovine) relativno velikoga obujma komada. Isto je omogućilo povećanje proizvodnosti privlačenja skiderom, a izradu krajnjega proizvoda svelo na postupak iveranja. Zbog navedenoga je istraživani sustav pridobivanja drvene sječke poprimio značajke visoko mehaniziranoga sustava kojemu, po definiciji, nedostaje samo potpuno mehaniziranje privlačenja drva koje se može postići zamjenom skidera s vitlom, primjerice skiderom s klijestima (Heinimann 2001). Tako postignuta racionalizacija rada rezultirala je smanjenjem troškova podsustava ručno-strojne sječe i izrade i troškova podsustava privlačenja u tolikoj mjeri da je omogućeno uvođenje iverača u sustav pridobivanja uz istodobno smanjenje ukupnoga troška sustava za prosječno 7,16 % u usporedbi sa sustavom pridobivanja oblovine sortimentnom metodom.

Posebice je značajno povećanje proizvodnosti podsustava privlačenja odabirom stablovne metode. Naime, privlačenje je sortimentnom metodom, zbog niskoga prosječnoga obujma tovara od samo 0,77 m³ i relativno visokoga broja komada u tovaru, rezultiralo niskom proizvodnošću u usporedbi s rezultatima dosadašnjih istraživanja istoga tipa skidera.

Tomašić (2007), u bitno različitim sastojinskim i eksploatacijskim uvjetima regularnih šuma, utvrđuje značajno veći prosječni obujam tovara za istraživani skider i u ranoj proredi primjenom sortimentne metode ($1,68 \text{ m}^3$) i u kasnoj proredi primjenom poludeblovne metode ($1,82 \text{ m}^3$) i u oplodnoj sječi primjenom poludeblovne metode ($2,00 \text{ m}^3$). Isti autor navodi i značajno veću proizvodnost u iznosu od $2,82 \text{ m}^3/\text{p.h.}$ (pri srednjoj udaljenosti privlačenja 274 m) za ranu proredu, $3,68 \text{ m}^3/\text{p.h.}$ (pri srednjoj udaljenosti privlačenja 200 m) za kasnu proredu i $2,52 \text{ m}^3/\text{p.h.}$ (pri srednjoj udaljenosti privlačenja 611 m) za oplodnu sječu. Zečić (2003) pri istraživanju privlačenja drva poludeblovnim metodom prvom serijom (Ecotrac V 1033 F) istoga tipa skidera u četiri bjelogorične proredne sastojine također utvrđuje veći obujam tovara, od $1,12 \text{ m}^3$ do $1,49 \text{ m}^3$, i proizvodnost u rasponu udaljenosti privlačenja od 150 m do 650 m. Na 150 m srednje udaljenosti privlačenja proizvodnost iznosi od $15,96 \text{ m}^3/\text{dan}$ do $49,27 \text{ m}^3/\text{dan}$, a na 560 m srednje udaljenosti privlačenja od $10,88 \text{ m}^3/\text{dan}$ do $26,45 \text{ m}^3/\text{dan}$. Spinelli i dr. (2012) istražuju privlačenje sortimentnom metodom skiderom Ecotrac 55V u proredi stogodišnje smrekove sastojine i utvrđuju prosječni obujam tovara od $1,243 \text{ m}^3$ i proizvodnost od $4,1 \text{ m}^3/\text{h}$ (za srednju udaljenost privlačenja 138 m). Iznimno niski iznosi obujma izrađenih sortimenata u istraživanoj sječini nisu samo utjecali na povećanje utrošaka vremena rada na sječini i pomoćnom stovarištu, već su u prvom redu limitirali obujam tovara skidera. Otuda nastaju i značajne negativne razlike u proizvodnosti skidera u usporedbi s prethodnim istraživanjima.

5. Zaključci – Conclusions

Sustav pridobivanja oblovine sortimentnom metodom omogućuje ostvarivanje dobiti u uvjetima istraživane sječine do zaključno 590 m udaljenosti privlačenja, uz pretpostavku postojanja potražnje za stupovima za vodove na tržištu. U slučaju nepostojanja potražnje za stupovima za vodove provođenje će radova pridobivanja drva sortimentnom metodom u uvjetima istraživane sječine rezultirati novčanim gubitkom. Može se očekivati da će u smrekovim šumskim kulturama većega srednjega prsnoga promjera stabala radovi pridobivanja drva biti ekonomski pogodniji ne samo zbog smanjenja jediničnih troškova uvjetovanih zakonitošću obujma komada već i zbog veće vrijednosti sortimenata koji se u takvim sječinama mogu izraditi. Kao alternativu sustavu pridobivanja oblovine sortimentnom metodom, u uvjetima istraživane sječine s troškovnoga je aspekta pogodnije koristiti sustav pridobivanja drvene

sječke stablovnim metodom, ali treba imati na umu da će ekonomska isplativost navedenoga sustava uvelike ovisiti i o mogućnosti postizanja odgovarajuće cijene za proizvedenu drvenu sječku.

6. Literatura – References

- Anon., 1989: Zbirka Jugoslovenskih standarda za drvo. Novinsko-izdavačka ustanova Službeni list SFRJ, Beograd, 1–682.
- Anon., 2012: Cjenik glavnih šumskih proizvoda. »Hrvatske šume« d.o.o. Zagreb, 1–43.
- Erler, J., M. Dög, 2009: Funktiogramme für Holzernteverfahren. Forsttechnische Informationen 61 (9–10): 14–17.
- FAO, 1992: Cost control in forest harvesting and road construction. FAO Forestry Paper 99. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1–106.
- Grammel, R., 1988: Holzernte und Holztransport. Verlag Paul Parey, Hamburg – Berlin, 1–242.
- Heinimann, H. R., 2001: Verfahrenstechnik III – Analyse, Gestaltung und Steuerung technischer Produktionssysteme. Swiss Federal Institute of Technology Zürich, 1–26.
- HRN EN 14774-2:2010 Solid biofuels – Determination of moisture content – Oven dry method – Part 2: Total moisture – Simplified method. Hrvatski zavod za norme, Zagreb, 1–7.
- HRN EN 14775:2010 Solid biofuels – Determination of ash content. Hrvatski zavod za norme, Zagreb, 1–8.
- HRN EN 14961-1:2010 Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 1: General requirements. Hrvatski zavod za norme, Zagreb, 1–52.
- HRN EN 15149-1:2010 Solid biofuels – Determination of particle size distribution – Part 1: Oscillating screen method using sieve apertures of 1 mm and above. Hrvatski zavod za norme, Zagreb, 1–13.
- Krpan, A. P. B., 1992: Analiza čimbenika daljinskog transporta drva kamionima. Disertacija. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–264.
- Krpan, A. P. B., T. Poršinsky, 2001: Harvester Timberjack 1070 u Hrvatskoj. Šumarski list 125 (11–12): 619–624.
- Mudrenović, S., M. Bajić, 1985: Prorede u plantažama četinarara. Šumske prorede i celuložno drvo, D. Bura (ur.). Jugoslovenski poljoprivredno-šumarski centar – Služba šumske proizvodnje, Beograd, 11: 1–19.
- Oršanić, M., 1994: Uspijevanje šumskih kultura obične smreke (*Picea abies* /L./ Karst), crnoga bora (*Pinus nigra* Arn.) i europskog ariša (*Larix decidua* Mill.) na Zagrebačkoj gori. Magistarski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–97.
- Poršinsky, T., 2005: Djelotvornost i ekološka pogodnost forvardera Timberjack 1710 pri izvoženju oblovine iz nizinskih

šuma Hrvatske. Disertacija. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–170.

Speidel, G., 1952: Das Stückmassegesetz und seine Bedeutung für den internationalen Leistungsvergleich bei der Forstarbeit. Dissertation. Universität Hamburg, 1–66.

Spinelli, R., N. Magagnotti, R. Laina Relaño, 2012: An alternative skidding technology to the current use of crawler tractors in Alpine logging operations. *Journal of Cleaner Production* (31): 73–79.

Stankić, I., 2010: Višekriterijsko planiranje izvoženja drva forvarderima iz nizinskih šuma Hrvatske. Disertacija. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–123.

Tomanić, S., 1974: Istraživanje nekih mogućnosti racionalizacije rada pri dovršnoj ljetnoj sječi, izradi i privlačenju bukovine na brdskim terenima Posavine. Disertacija. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–468.

Tomašić, Ž., 2007: Istraživanje tehničko-eksploatacijskih značajki skidera za prorede. Disertacija. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–316.

Vondra, V., 1991: Istraživanje i primjena matematičkih modela za planiranje i kontrolu radova u šumarstvu. Disertacija. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–325.

Vusić, D., 2013: Pogodnost sustava pridobivanja drvene biomase u smrekovoj šumskoj kulturi. Disertacija. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–174.

Zečić, Ž., 2003: Optimizacija skupnoga rada pri eksploataciji bjelogoričnih prorednih sastojina Panonskog gorja. Disertacija. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–313.

Zečić, Ž., D. Vusić, 2009: Računalne norme privlačenja drva traktorima (RANOP). Elaborat, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–15.

Abstract

Harvesting in Spruce Forest Plantation – Assortment or Full Tree Method?

This study was conducted in order to determine the economic effect of replacing partially mechanized system of roundwood harvesting by assortment method with the system of wood chip harvesting by full tree method in conditions of unthinned common spruce forest plantation.

In the assortment method (M1), after felling, trees were processed into wood assortments (roundwood), which were then skidded to the landing, and in the full tree method (M2), trees were felled, skidded to the landing and subsequently chipped. Motor-manual felling and processing were done by chainsaw and primary transport was done by a skidder. Harvesting by full tree method was complemented by a chipper to produce wood chips at the landing.

Synergy of piece-volume-law and product-type-law is evident in the system of harvesting wood chips by full tree method. The absence of working elements: delimiting, bucking and scaling, resulted in a significant reduction in the effective time consumption per tree, but it also enabled the production of uniform semi-products (full trees) of a relatively large piece volume. This also enabled the increase of skidding productivity, while processing was reduced to the chipping process. Consequently, the investigated system of wood chip harvesting overtook the features of a highly mechanized system. Work rationalization achieved in this way resulted in a reduction in the cost of the motor-manual felling and processing subsystem as well as in the cost of skidding subsystem in such an extent that it enabled the introduction of a chipper in the harvesting system and at the same time the total cost of the system was reduced by an average 7.16% compared to the system of roundwood harvesting by assortment method.

The use of roundwood harvesting by assortment method results in profit under the conditions of the researched felling site at the skidding distance of up to 590 m, provided that there is demand for timber poles (TP) in the market (sawlogs – SL, timber poles – TP and pulpwood – PW are produced). At the same skidding distance, wood chip harvesting by full tree method can compete with roundwood harvesting by assortment method when the price of wood chips (P45B, M55, A5.0) produced from whole tree biomass of spruce exceeds €54.78/t of oven-dry wood chips. In the lack of demand for timber poles (sawlogs – SL and pulpwood – PW are produced), timber harvesting by assortment method, under the conditions of the researched felling site, will result in financial loss in all of the observed skidding distances.

As an alternative to roundwood harvesting by assortment method, under the conditions of the researched felling site, from the aspect of cost it is more suitable to use wood chip harvesting by full tree method, but it should be noted that the economic viability of the above system will largely depend on the possibility of achieving adequate prices for the produced wood chips.

Keywords: unit cost, roundwood, wood chips

Adresa autorâ – Authors' address:

Dr. sc. Dinko Vusić*
e-pošta: vusic@sumfak.hr
Izv. prof. dr. sc. Željko Zečić
e-pošta: zecic@sumfak.hr
Dr. sc. Zdravko Pandur
e-pošta: pandur@sumfak.hr
Zavod za šumarske tehnike i tehnologije
Šumarski fakultet Svučilišta u Zagrebu
Svetošimunska 25
10 000 Zagreb
HRVATSKA

Luka Kasumović, dipl. inž. šum.
e-pošta: luka.kasumovic@hrsume.hr
Dalibor Šegota, dipl. inž. šum.
e-pošta: dalibor.segota@hrsume.hr
»Hrvatske šume« d.o.o.
UŠP Gospić
Budačka 23
53 000 Gospić
HRVATSKA

Primljeno (Received): 13. 11. 2013.

Prihvaćeno (Accepted): 21. 11. 2013.

* Glavni autor – Corresponding author