

Učinkovitost mehanizirane izrade kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva

Dinko Vusić, Željko Zečić, Mladen Smetko

Nacrtak – Abstract

Unatoč velikoj potrošnji kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva u Europi, proveden je relativno malen broj usporednih istraživanja proizvodnosti i troškova rada strojeva za izradu kratko rezanoga i cijepanoga drva te kakvoće proizvedenoga ogrjevnoga drva.

Radi utvrđivanja učinkovitosti mehanizirane izrade kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva strojem Binderberger SSP 450 E primijenjena je protočna metoda kronometrije. Utvrđeni su radni zahvati efektivnoga vremena i prekidi rada te izmjereni trošci vremena i ostvareni učinci. Višestrukom regresijskom analizom istražena je ovisnost utroška vremena pojedinih radnih zahvata o dimenzijama (duljini i srednjem promjeru) obloga energijskoga drva. Konstruiran je model za izračun proizvodnosti (na razini efektivnoga vremena) izrade kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva na temelju signifikantnih utjecajnih parametara. Učinkovitost je vrednovana i s obzirom na kakvoću proizvoda sukladno normama za čvrsta biogoriva (HRN EN ISO). Modelom za izračun proizvodnosti mehanizirane izrade kratko rezanoga i cijepanoga drva u duljinama 25 cm, konstruiranim na temelju rezultata istraživanja, moguće je odrediti proizvodnost za različite duljine i promjere obloga energijskoga drva hrasta kitnjaka. Model prepoznaje utjecaj duljine obloga drva na utrošak vremena potrebnoga za radni zahvat prerezivanje i cijepanje te na povećanje količine konačnoga proizvoda po komadu obloga energijskoga drva. No, istraživanjem nije utvrđen utjecaj promjera obloga energijskoga drva na utrošak vremena potrebnoga za radni zahvat prerezivanje i cijepanje, već model iskazuje samo pozitivan utjecaj promjera na povećanje količine konačnoga proizvoda po komadu obloga energijskoga drva.

Prostor za značajno povećanje kakvoće, a time i cijene proizvedenoga ogrjevnoga drva nalazi se u optimizaciji prirodnoga prosušivanja sirovine radi dostizanja 25 % i manje sadržaja vode, odnosno zadovoljavanja propisa razreda kakvoće A1 i A2 prema HRN EN ISO 17225-5:2014. No, treba imati na umu da je proces prirodnoga prosušivanja zahtjevan s obzirom na dulje razdoblje vezivanja kapitala i veće logističke napore u cjelokupnom proizvodnom sustavu.

Rezultati istraživanja i izazovi uočeni tijekom njegova provođenja upućuju na nužnost detaljnijega snimanja i analize radnoga zahvata prerezivanje i cijepanje te planiranja pokusa s ulaznom sirovinom različite kakvoće (s obzirom na zakrivljenost i pojavnost korga) i sirovinom sortiranom na debljinske i razrede duljine.

Proizvodne količine i vrijednost kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva traže dodatna istraživanja proizvodnosti različitih strojeva za izradu kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva te kakvoće proizvedenoga ogrjevnoga drva, kao i analize troškovne pogodnosti cjelokupnoga lanca dobave.

Ključne riječi: ogrjevno drvo, proizvodnost, prerezivanje i cijepanje, duljina, promjer, kakvoća proizvoda

1. Uvod – Introduction

Posljednje desetljeće donijelo je velike promjene na europskom tržištu energijskoga drva. Obveze zemalja članica Europske unije definirane nacionalnim akcijs-

kim planovima za obnovljivu energiju mobiliziraju značajne količine šumske biomase za proizvodnju novih oblika čvrstih biogoriva – drvne sječke i peleta. No, ogrjevno drvo u tradicionalnom obliku jednome-tarskih cijepanica i oblika, najčešće proizvedeno samoiz-

radom, još je uvijek najznačajniji energent za proizvodnju toplinske energije u ruralnim područjima Republike Hrvatske (RH).

Struktura plana prodaje energijskoga i celuloznoga drva iz državnih šuma RH za 2014. godinu pokazuje da se 86 % udjela u ukupnim proizvedenim količinama ($2518 \times 10^3 \text{ m}^3$ neto) namjerava iskoristiti kao energijsko drvo (za kućanstva, preradu u kratko rezano i cijepano drvo, proizvodnju peleta, uporabu u kogeneracijskim postrojenjima i proizvodnju drvnoga ugljena). U državnim šumama (koje zauzimaju 78 % ukupne šumske površine RH) značajne se količine jednometarskoga ogrjeva (10-godišnji prosjek od $718 \times 10^3 \text{ m}^3$ neto/god.) i dalje proizvode kao posljedica socijalno-ekonomskih čimbenika i odsutnosti ozbiljnije potražnje za drvnom sječkom na domaćem tržištu (Vusić i Đuka 2015). Osim tradicionalnoga načina proizvodnje, prodaje i uporabe jednometarskoga (i lokalno prerađenoga višemetarskoga) ogrjevnoga drva, posljednjih godina veći broj poduzeća (113) započinje proizvodnju kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva, uglavnom za izvoz, a planirane količine energijskoga drva za preradu u navedenim poduzećima u 2014. godini iznosile su do $530 \times 10^3 \text{ m}^3$ neto samo iz državnih šuma (Kuric 2014). Prema podacima Državnoga zavoda za statistiku (www.dzs.hr) u proteklih pet godina izvezeno je $2162,5 \times 10^3 \text{ t}$ ogrjevnoga drva ukupne vrijednosti 1 026 648,8 $\times 10^3$ kn. Od ukupno $247,2 \times 10^3 \text{ t}$ ogrjevnoga drva izvezenoga u 2010. godini 73 % činilo je kratko rezano i cijepano ogrjevno drvo s prosječnom cijenom od 503 kn/t. U 2014. godini ukupno je izvezeno $659,5 \times 10^3 \text{ t}$ ogrjevnoga drva; najviše u Italiju (62 %), zatim Sloveniju (17 %), Mađarsku (12 %) i Austriju (8 %).

Unatoč velikoj potrošnji kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva u Europi, proveden je relativno malen broj usporednih istraživanja proizvodnosti i troškova rada strojeva za izradu kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva te kakvoće proizvedenoga ogrjevnoga drva (Kärhä i Jouhiaho 2009). Veća je istraživačka pozornost usmjerena proučavanju proizvodnje i kakvoće novoga proizvoda iz palete čvrstih biogoriva – drvnoj sječki. Razlozi nedostatnoga istraživačkoga angažmana možda leže i u činjenici da se izrada ogrjevnoga drva smatrala jednostavnim postupkom malenoga potencijala za značajno unaprjeđenje, što svakako opovrgava velika varijabilnost proizvodnosti strojeva za izradu kratko rezanoga i cijepanoga drva (Manzone i Spinelli 2014) koju je sistematizirao Lindros (2008) na temelju devet dostupnih objava u razdoblju od 1986. do 2004. godine.

Pred više od trideset godina (Tomičić 1984) utvrđeno je da proizvodnja ogrjevnoga drva u obliku jednometarskih cijepanica i oblica, zbog visokoga udjela

niskomehaniziranih radnih zahvata cijepanja i slaganja, rezultira visokim troškovima rada, a zbog negativnoga utjecaja malenoga obujma pojedinoga komada, sukladno zakonu obujma komada (Speidel 1952), otežava i učinkovitu primjenu mehanizacije u primarnom transportu. Navedeni problemi riješeni su uspješnom primjenom tehničko-tehnoloških inovacija koje su omogućile postupnu zamjenu izrade drva u jednometarskom obliku izradom višemetarskoga obloga drva za ogrjev, industriju celuloze i papira te industriju drvnih ploča. U istom razdoblju Terezin i Vinković (1983) utvrđuju da proizvodnja ogrjevnoga drva na putu od panja do kupca apsorbira previše rada i predlažu nova tehnološka rješenja u obavljanju potrebnoga rada pri izradi ogrjevnoga drva u vlastitoj režiji što racionalnije, vodeći računa o interesu potrošača. Predlažu izradu kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva na pomoćnom stovarištu, a o sličnoj praksi, doduše integriranoj u viskomehanizirani sustav pridoivanja drva, pišu i Visser i dr. (2010). Osim toga, Terezin i Vinković (1983) predlažu i mehaniziranu izradu kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva na centralnim mehaniziranim stovarištima, što je u Republici Hrvatskoj krenulo tek prije desetak godina uporabom modernih i učinkovitih namjenskih strojeva.

Učinkovitost prerade obloga energijskoga drva u kratko rezano i cijepano ogrjevno drvo definira naravno utrošak vremena po jedinici proizvoda, ali svakako i kakvoća proizvoda. Naime, kontrola kakvoće u sustavu proizvodnje prijeko je potrebna radi proizvodnje čvrstoga biogoriva najbolje moguće kakvoće s obzirom na postojeću sirovinu, odnosno radi izbjegavanja prerade vrsne sirovine u čvrsto biogorivo slabe kakvoće (Vusić i dr. 2014). U trenutku kada tržište i kupci zahtijevaju sve veću kakvoću kratko rezanoga i cijepanoga drva, posebice u pogledu ujednačenosti dimenzija, vrste drva i sadržaja vode (Kärhä i Jouhiaho 2009, Cavalli i dr. 2014), kontrola i unaprjeđenje kakvoće postaju sastavni dio proizvodnoga procesa, a kakvoća kratko rezanoga i cijepanoga drva, definirana normom proizvoda, postaje odlučujući čimbenik u postizanju zadovoljavajuće prodajne cijene koja u konačnici, uz proizvodnost i godišnju iskorištenost kapaciteta stroja za izradu (Kärhä i Jouhiaho 2009), ponajprije uvjetovanu raspoloživošću adekvatne sirovine igra odlučujuću ulogu u troškovnoj pogodnosti mehaniziranoga načina izrade.

Da bi se utvrdila učinkovitosti mehanizirane izrade kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva, postavljeno je istraživanje kojim se namjerava analizirati ovisnost utroška vremena pojedinih radnih zahvata o dimenzijama (duljini i srednjem promjeru) obloga energijskoga drva, konstruirati model za izračun

produktivnosti izrade kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva na temelju signifikantnih utjecajnih parametara, ali i vrednovati učinkovitost s obzirom na kakvoću proizvoda sukladno normama za čvrsta biogoriva (HRN EN ISO). Budući da postoji relativno malen broj znanstvenih objava o toj tematici, posebice u Republici Hrvatskoj, podrobna raščlamba proizvodnoga procesa treba rezultirati i smjernicama budućih istraživanja predmetne problematike.

2. Materijal i metode – *Material and Methods*

Istraživanje je provedeno u ljeto 2015. godine u pogonu za izradu kratko rezanoga i cijepanoga drva smještenom u Novakima Petrovinskim nedaleko od Jastrebarskoga. Proizvodni se pogon sastoji od djelomično asfaltiranoga stovišta obloga energijskoga drva prikladne veličine, natkrivena prostora u kojem se nalazio istraživani i još jedan stroj za izradu kratko rezanoga i cijepanoga drva manjega kapaciteta, dva hangara u kojima se odvija slaganje ogrjevnoga drva u palete, a povremeno se koriste i kao skladišni prostor, otvorena skladišna prostora, pilane i prostora za izradu paleta, radionice za servis strojeva, prostorije za radnike i upravne zgrade.

Istraživani stroj za izradu kratko rezanoga i cijepanoga drva, Binderberger SSP 450 E, proizvod je austrijske tvrtke »Binderberger«, St. Georgen am Fillmannsbach nedaleko od Salzburga, koja osim strojeva za izradu kratko rezanoga i cijepanoga drva proizvodi i ostale strojeve i opremu za šumarstvo. Binderberger SSP 450 E (osnovne značajke prikazane u tablici 1) čine transportna traka za dopremu obloga energijskoga drva, uređaj za prepiljivanje (pila lančanica), hidraulični klinasti cjepač, transporter za kratko rezano i cijepano drvo, elektromotor, kontrolna i upravljačka jedinica te uređaj za usisavanje piljevine. Opremljen je integriranim sustavom podmazivanja lanca pile lančanice i hidrauličnim zatezanjem lanca, a mogućnost upravljanja strojem je automatska ili ručna.

Proizvodni proces počinje odabirom prikladnih komada obloga energijskoga drva na stovištu pogona (vrsta drva, trajanje prosušivanja, promjer, duljina), prijevozom viličarom i istovarom na utovarnu rampu. S utovarne rampe bočnim transporterom komad se obloga energijskoga drva transportira na transportnu traku (slika 1a), a dalje transportnom trakom do uređaja za prerezivanje. Nakon fiksiranja vertikalnim klinom i prerezivanja na željenu duljinu (slika 1b) hidrauličnim potisnikom prerezani se komad pomiče u komoru za cijepanje gdje ga drugi hidraulični potisnik potiskuje kroz sječivo (slika 1c). Istodobno s po-

Tablica 1. Osnovne značajke stroja Binderberger SSP 450 E
Table 1 Technical characteristics of the firewood processor Binderberger SSP 450 E

Značajka <i>Characteristic</i>	Jedinica <i>Unit</i>	Iznos <i>Value</i>
Snaga motora <i>Engine power</i>	kW	22 + 9,0
Promjer ulaznoga obloga drva <i>Diameter of input round fuelwood</i>	cm	10–42
Duljina izrade izlaznih cijepanica <i>Length of output chopped firewood</i>	cm	25–50
Snaga cijepanja <i>Thrust of splitting cylinders</i>	t	16
Masa <i>Mass</i>	kg	2800
Dimenzije (duljina × širina × visina) <i>Dimensions (length × width × height)</i>	cm	180 × 300 × 255
Nabavna cijena <i>Purchase price</i>	kn	≈ 225 000,00

tiskivanjem kroz sječivo nastavlja se transport preostalog dijela neprerezanoga komada obloga energijskoga drva i njegovo fiksiranje, a nakon toga i prerezivanje. Isti se postupci smjenjuju cijelom duljinom preostalog dijela obloga energijskoga drva, a novi ciklus izrade nastavlja se transportom novoga komada obloga energijskoga drva na transportnu traku. Svaki nadolazeći prerezani komad obloga energijskoga drva potpuno potiskuje prethodno izrađene komade kratko rezanoga i cijepanoga drva kroz sječivo na transporter za kratko rezano i cijepano drvo (slika 1d). Nakon utovara u prijevozno sredstvo kratko rezano i cijepano drvo prevozi se u dio pogona gdje se obavlja sortiranje i slaganje u palete.

Prilikom istraživanja izrađivani su komadi kratko rezanoga i cijepanoga drva u ciljanim duljinama od 25 cm, a cijepanje je obavljeno fiksnim nožem s osam sječiva (slika 1 c). Sirovinu za proizvodnju kratko rezanoga i cijepanoga drva činilo je oblo energijsko drvo hrasta kitnjaka (*Quercus petraea* /Matt./Liebl.). Komadi obloga energijskoga drva odabrani su nasumično, bez razvrstavanja na debljinske i razrede duljine. Duljina komada ograničena je na šest metara sukladno dimenzijama ulazne rampe.

Tijekom istraživanja strojem je rukovao iskusan radnik, a sam postupak snimanja nije ometao redovitu proizvodnju.

Istraživanje produktivnosti mehanizirane izrade kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva strojem



Slika 1. Radni zahvati pri izradi kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva: a) transport obloga energijskoga drva do mjesta prerezivanja; b) prerezivanje; c) cijepanje; d) transport kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva

Fig 1 Work elements in chopped firewood production: a) transport of round fuelwood to the place of cross-cutting; b) cross-cutting; c) splitting; d) transport of chopped firewood

Binderberger SSP 450 E provedeno je snimanjem digitalnom kamerom (slika 2) uz naknadnu analizu snimaka. Protočnom metodom kronometrije utvrđeni su trošci vremena, raščlanjeni na radne zahvate efektivnoga vremena i vremena prekida. S obzirom na preklapanje pojedinih radnih zahvata tijekom proizvodnoga procesa, granice opažanja postavljene su na trenutak u kojem počinje transport obloga energijskoga drva transportnom trakom kao početak ciklusa izrade te na završetak potiskivanja zadnjega prerezanoga komada hidrauličnim potisnikom kroz sječivo kao kraj ciklusa izrade. Fiksaznom je točkom ciklus izrade podijeljen na radni zahvat *transport* komada obloga energijskoga drva do uređaja za prerezivanje koji završava trenutkom u kojem počinje prerezivanje, odnosno radni zahvat *prerezivanje i cijepanje* koji traje sve do kraja ciklusa izrade (naravno isključujući prekide).

Podacima o utrošku vremena za radne zahvate *transport* te *prerezivanje i cijepanje* pridružene su dimenzije (stvarna duljina u metrima izmjerena na dva decimalna mjesta i srednji promjer s korom u centimetrima izmjerena na jedno decimalno mjesto) svakoga prethodno izmjenoga i na čelu obročanoga komada obloga energijskoga drva. Matematičko-statističkim analizama utvrđeni su prosječni trošci vremena za pojedine radne zahvate i prekide rada te struktura ukupno snimljenoga vremena, efektivnoga vremena i vremena prekida. Višestrukom regresijskom analizom istražena je ovisnost utroška vremena za radne zahvate *transport* te *prerezivanje i cijepanje* o duljini i srednjem promjeru komada obloga energijskoga drva. S obzirom na trajanje snimanja matematički model za izračun proizvodnosti konstruiran je na bazi efektivnoga vremena, isključujući vremena prekida (PMH_0) i oče-



Slika 2. Položaj digitalne kamere prilikom snimanja
Fig 2 Position of the digital camera when recording

kivanoga obujma proizvoda. Efektivno je vrijeme prikazano pripadajućom regresijskom jednadžbom radnoga zahvata i prosječnim utroškom vremena po komadu radnoga zahvata za koji nije utvrđena ovisnost o dimenzijama obloga energijskoga drva. Očekivani obujam proizvoda izračunat je na temelju dimenzija obloga energijskoga drva zanemarujući otpad (duljine su zaokružene na četvrtinu metra sukladno duljinama komada kratko rezanoga i cijepanoga drva).

Po završetku snimanja utroška vremena nasumično je odabrano 50 komada kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva hrasta kitnjaka iz ukupno proizvedene količine toga dana. Sukladno normi HRN EN ISO 17225-5:2014 svakomu je komadu izmjerena duljina, određen promjer, utvrđeno je da li se radi o cjepanici ili oblici, imaju li cjepanice tragove truleži te kakva je površina prereza. Nakon toga iz analiziranoga je uzorka odabrano pet komada koji su iscijepani na komade promjera manjega od 5 cm i koji su činili uzorak za određivanje tehničkoga sadržaja vode sukladno normi HRN EN ISO 18134-2:2015. Određivanje tehničkoga sadržaja vode provedeno je u Laboratoriju za šumsku biomasu Šumarskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Klasifikacija kratko rezanoga i cijepanoga drva proizvedenoga tijekom istraživanja obavljena je prema normi HRN EN ISO 17225-5:2014.

3. Rezultati – Results

3.1 Produktivnost izrade kratko rezanoga i cijepanoga drva – Productivity of chopped firewood production

Tijekom ukupno snimljenih 186,40 min prerađeno je 90 komada obloga energijskoga drva ukupnoga

obujma 7,215 m³, što čini ostvarenu proizvodnost izrade od 2,32 m³/h (uključujući otpad).

Prosječna duljina 90 komada obloga energijskoga drva iznosila je 291±73 cm (od minimalno 182 cm do maksimalno 474 cm), prosječni promjer iznosio je 17±4 cm (od minimalno 8 cm do maksimalno 28 cm).

Prosječan broj rezova pilom lančanicom iznosio je 10,9±2,8 rezova po komadu obloga energijskoga drva (od minimalno 6 rezova do maksimalno 18 rezova). Ukupan broj rezova iznosio je 978.

Ukupno je za radne zahvate *transport te prerezivanje i cijepanje*, koji čine efektivno vrijeme, utrošeno 153,10 min, odnosno 82,1 % ukupno snimljenoga vremena. Prosječno vrijeme potrebno za *transport* jednoga komada obloga energijskoga drva po transportnoj traci iznosilo je 0,10±0,09 min (od minimalno 0,03 min/kom do maksimalno 0,83 min/kom). Ukupno utrošeno vrijeme potrebno za *transport* iznosilo je 9,47 min ili 5,1 % ukupnoga, odnosno 6,2 % efektivnoga vremena. Prosječno vrijeme potrebno za *prerezivanje i cijepanje* jednoga komada dugoga obloga drva iznosilo je 1,59±0,42 min (od minimalno 0,85 min/kom do maksimalno 2,66 min/kom). Ukupno utrošeno vrijeme potrebno za *prerezivanje i cijepanje* iznosilo je 143,63 min ili 77,1 % ukupnoga, odnosno 93,8 % efektivnoga vremena.

Ukupno utrošeno vrijeme na 64 prekida rada iznosilo je 33,3 min, što čini 21,75 % od ukupno utrošenoga efektivnoga vremena. U postupku snimanja i analize primijećeni su uz prekide rada vezane uz osobne potrebe radnika (8,01 min) te organizacijske – pomicanje kamiona (7,45 min) i tehničke prekide – čišćenje odsisnoga sustava za piljevinu (2,61 min) i određeni prekidi u radu stroja uvjetovani značajkama sirovine (15,21 min):

- ⇒ pri transportu zakrivljenih komada obloga energijskoga drva često je dolazilo do zapinjanja, a povremeno i do iskliznuća komada
- ⇒ prilikom prepiljivanja i cijepanja kvrgavih komada povremeno se događalo zaglavljivanje pile lančаницe u kvrgama ili se događalo da se takav komad nije iz prvoga pokušaja mogao iscijepati, pa ga je ručno trebalo namjestiti u bolji položaj u odnosu na sječivo.

Provedenim višestrukim regresijskim analizama nije utvrđena statistički značajna ovisnost utroška vremena za radni zahvat *transport* o duljini ($p = 0,699604$) i promjeru ($p = 0,247597$) obloga energijskoga drva, a za radni zahvat *prerezivanje i cijepanje* utvrđena je statistički značajna ovisnost o duljini ($p < 0,000001$), no ne i o promjeru obloga energijskoga drva ($p = 0,314813$). Stoga je ovisnost utroška vremena za radni zahvat *pre-*

Tablica 2. Statistička značajnost parametara modela $t_{pc} = b_0 + b_1 \times l$ **Table 2** Statistical significance of model $t_{pc} = b_0 + b_1 \times l$ parameters

Varijabela <i>Variable</i>	Procjena <i>Estimate</i>	Standardna pogreška <i>Standard error</i>	t-vrijednost <i>df</i> = 88 t-value <i>df</i> = 88	p-razina <i>p-level</i>	Interval pouzdanosti 95,0 % <i>Confidence interval 95.0%</i>	
					Donja granica <i>Lower limit</i>	Gornja granica <i>Upper limit</i>
b_0	0,029235	0,064877	0,45063	0,653364	-0,099694	0,158165
b_1	0,539308	0,021660	24,89867	0,000000	0,496263	0,582353

$N = 90$; $r = 0,9358$; $F(2,88) = 5408,992$; $p < 0,0001$

rezivanje i cijepanje (t_{pc}) izjednačena pravcem s nezavisnom varijablom duljina obloga energijskoga drva (l) i u modelu za izračun proizvodnosti prikazana pripadajućom linearnom jednadžbom (tablica 2), a utrošak vremena za radni zahvat *transport* iskazan je u modelu za izračun proizvodnosti pripadajućom srednjom vrijednošću po komadu obloga drva.

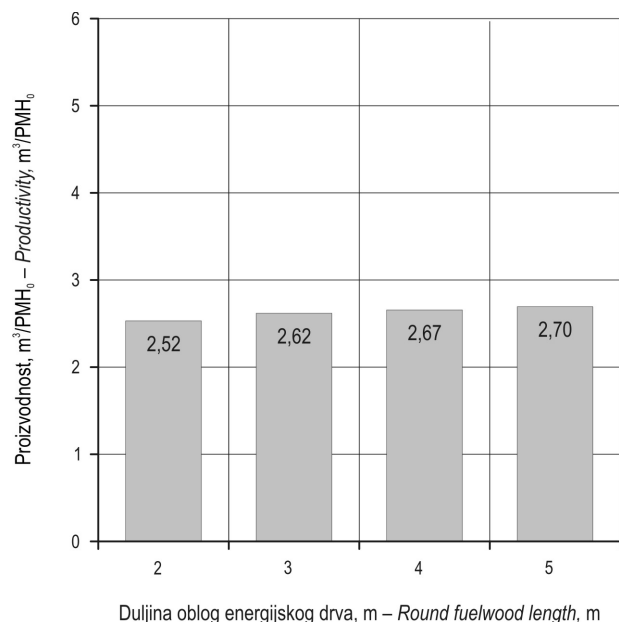
S obzirom na trajanje istraživanja nije bilo moguće utvrditi dodatno vrijeme koje bi na odgovarajući način reflektiralo stvarnu učestalost i intenzitet prekida tijekom radnoga dana. Zbog toga je proizvodnost izračunata na razini efektivnoga vremena (PMH_0) isključujući prekide.

Primjenom modela za izračun proizvodnosti (1) izračunata je proizvodnost za prosječni promjer oblo-

ga energijskoga drva 18 cm za duljine obloga energijskoga drva 2 m, 3 m, 4 m i 5 m (zanemarujući otpad koji nastaje prepiljivanjem) i prikazana na slici 3 te proizvodnost za prosječnu duljinu obloga energijskoga drva 3 m (najbližu višekratniku 25 cm) za promjere obloga energijskoga drva 10 cm, 15 cm, 20 cm i 25 cm i prikazana na slici 4.

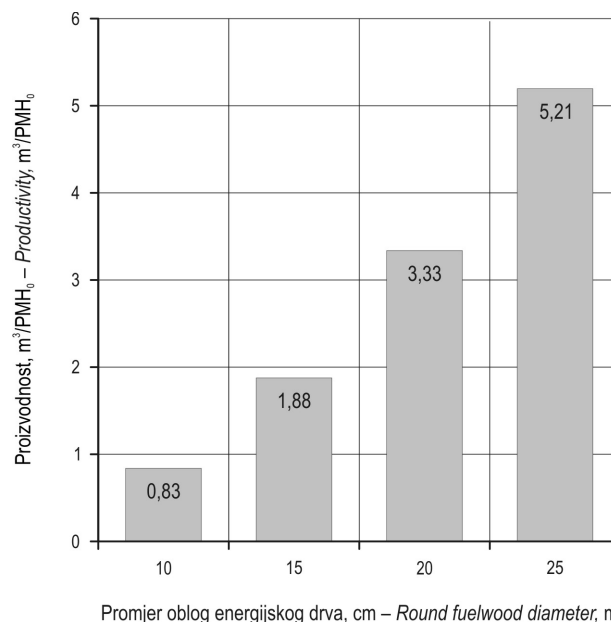
$$P = \frac{\frac{d^2 \times \pi}{40000} \times l}{0,1 + 0,029235 + 0,539308 \times l} \left[\frac{\text{m}^3}{PMH_0} \right] \quad (1)$$

gdje je d promjer komada obloga energijskoga drva, a l duljina komada obloga energijskoga drva.



Slika 3. Utjecaj duljine obloga energijskoga drva na proizvodnost izrade kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva

Fig. 3 Effect of round fuelwood length on productivity of firewood processor



Slika 4. Utjecaj promjera obloga energijskoga drva na proizvodnost izrade kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva

Fig. 4 Effect of round fuelwood diameter on productivity of firewood processor

Prema rezultatima modela za izračun proizvodnosti u efektivnom vremenu istraživanim strojem moguće je izraditi od $2,53 \text{ m}^3/\text{PMH}_0$ kratko rezanoga i cijepanoga drva hrasta kitnjaka u duljinama komada 25 cm pri promjeru obloga energijskoga drva 18 cm i duljini 2 m do $2,70 \text{ m}^3/\text{PMH}_0$ pri promjeru obloga energijskoga drva 18 cm i duljini 5 m, odnosno od $0,83 \text{ m}^3/\text{PMH}_0$ pri duljini obloga energijskoga drva 3 m i promjeru 10 cm do $5,21 \text{ m}^3/\text{PMH}_0$ pri duljini obloga energijskoga drva 3 m i promjeru 25 cm.

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

Sadržaj vode kratko rezanoga i cijepanoga drva prosječno je iznosio $31,7 \pm 2,6 \%$ (od minimalno 27,3 % do maksimalno 33,6 %).

Na ukupno 50 nasumično odabranih kratko rezanih i cijepanih komada ogrjevnoga drva izmjerena je prosječna dužina komada od $24,6 \pm 0,8 \text{ cm}$ (minimalna izmjerena dužina komada iznosila je 23,2 cm, a maksimalna 27,9 cm). Prema izmjerenim promjerima 2 komada (4 %) ubrajaju se u razred D15+, 39 komada (78 %) ubraja se u razred D15 i 9 komada (18 %) u razred D10. Tri komada kratko rezanoga i cijepanoga drva (6 %) imala su tragove truleži, a 47 komada (94 %) bilo je bez tragova truleži. Kod svih je komada površina presjeka bila jednolična. Od ukupnoga broja 46 je komada (92 %) definirano kao cjepanica, a 4 komada (8 %) definirana su kao oblica.

S obzirom na navedene rezultate, a radi postizanja ujednačenih razreda kakvoće sukladno HRN EN ISO 17225-5:2014, nužno je proizvedeno ogrjevno drvo prilikom slaganja u palete razvrstati u jednolične razrede dimenzija (85 % količine mora pripadati jednomu razredu promjera, a odstupanje duljine smije biti $\pm 2 \text{ cm}$ uz 15 % količine u duljinama kraćim od graničnih) te ovisno o željenom razredu ukloniti komade s tragovima truleži. Istraživanjem je utvrđeno da za slaganje jedne palete ($100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} \times 180 \text{ cm}$) kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva duljine 25 cm treba prosječno utrošiti jedan radni sat.

4. Rasprava – *Discussion*

Modelom izračunate proizvodnosti mehanizirane izrade kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva strojem Binderberger SSP 450 E, u ovisnosti o duljini i promjeru komada obloga energijskoga drva, sličnoga su trenda i usporedivih iznosa s proizvodnosti stroja Palax Monster 450 sličnih tehničkih značajki kojega su istraživali Kärhä i Jouhiahho (2009) pri izradi kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga brezova drva. Slič-

nosti se mogu objasniti i činjenicom da su navedeni autori za izračun proizvodnosti koristili regresijsko izjednačenje proizvodnosti, na koju najveći utjecaj ima promjer komada obloga energijskoga drva sukladno zakonu obujma komada (Speidel 1952). Odnosno, promjer komada obloga energijskoga drva ima izrazit pozitivan utjecaj na povećanje proizvodnosti (jer eksponencijalno povećava obujam proizvoda); posebice je to izraženo ako s povećanjem promjera ne raste i utrošak vremena izrade, kao što je utvrđeno ovim istraživanjem. Cavalli i dr. (2014) razvijaju model za izračun utroška vremena mehanizirane izrade kratko rezanoga i cijepanoga bukova drva strojem Tollot S400 s ulaznim varijablama duljine i promjera obloga energijskoga drva kojim su izračunati nešto niži iznosi proizvodnosti u ovisnosti o promjeru obloga energijskoga drva u usporedbi s rezultatima ovoga istraživanja. No, isti autori navode da prosječno vrijeme prerađivanja jedne sekcije (duljine komada kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva) obloga energijskoga drva ovisi o brzini hidrauličnoga potisnika u komori za cijepanje, a ne o veličini sekcije koju treba iscijepati. Izostanak statističke signifikantnosti utjecaja promjera obloga energijskoga drva na utrošak vremena radnoga zahvata *prerezivanje i cijepanje*, utvrđen ovim istraživanjem, može se tumačiti interakcijom duljine ulaznoga komada obloga energijskoga drva i duljine izlaznih komada kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva koja rezultira brojem prereza i cijepanja, a vrijeme prereza je samo (manji) dio ukupnoga vremena radnoga zahvata koji obuhvaća i cijepanje te uzastopno pomicanje i fiksiranje obloga energijskoga drva prije prerezivanja koje se djelomično preklapa s cijepanjem. Upravo utjecaj broja prereza (odnosno broja trupaca) prilikom istraživanja utroška vremena trupljenja debla u tehničke sortimente ističe i Tomanić (1974) i navodi njegov puno veći utjecaj na utrošeno vrijeme u usporedbi s utjecajem obujma trupaca u deblu. Pozitivan utjecaj duljine komada obloga energijskoga drva na proizvodnost mehanizirane izrade kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva rezultat je povoljnije raspodjele prosječnoga utroška vremena radnoga zahvata *transport* na jedinicu izrađenoga proizvoda, a isto je utvrđeno i prijašnjim istraživanjima (Cavali i dr. 2014). Porast duljine obloga energijskoga drva s jedne strane iziskuje veći utrošak vremena potrebnoga za radni zahvat *prerezivanje i cijepanje*, no s druge strane pozitivno utječe na količinu kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva koju je moguće proizvesti iz komada obloga energijskoga drva.

Ukupno trajanje istraživanja, uobičajeno pri istraživanju sličnih strojeva (Lindroos 2008, Kärhä i Jouhiahho 2009, Cavali i dr. 2014), ne pruža mogućnost izračuna

dotatnoga vremena. Stoga se proizvodnost najčešće iskazuje na razini efektivnoga vremena (PMH_0), što pak predstavlja problem pri izračunu jediničnih troškova. Kärhä i Jouhiaho (2009) za transformaciju proizvodnosti s razine efektivnoga vremena (PMH_0) na razinu vremena koje uključuje i prekide kraće od 15 min (PMH_{15}) koriste dodatno vrijeme u iznosu od 15 % do 30 % efektivnoga vremena (obrnuto proporcionalno stupnju mehaniziranosti izrade), a 22 % udjela prekida u odnosu na efektivno vrijeme utvrđenih ovim istraživanjem uklapa se u njihovu projekciju.

Različite navike potrošača ogrjevnoga drva i različiti načini njegove uporabe, od kamina s otvorenim ložištem do visokoučinkovitih modernih kotlova (Kofman 2013), rezultirali su različitim zahtjevima za kakvoćom kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva. No, osnovne značajke ogrjevnoga drva zadane su normama (Cavali i dr. 2014) čijom se primjenom uvelike olakšava trgovina ogrjevnim drvom deklarirane kakvoće (Kärhä i Jouhiaho 2009). Osnovni limitirajući čimbenik kakvoće utvrđen ovim istraživanjem previsok je sadržaj vode ($31,7 \pm 2,6$ %) koji je moguće smanjiti prirodnim prosušivanjem obloga energijskoga drva na stovarištu postrojenja (Cavali i dr. 2014) ili pak prirodnim prosušivanjem kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva (Kofman 2013) prije slaganja u palete. Od ostalih čimbenika koji mogu utjecati na primjenu u manjim ložištima Cavali i dr. (2014) navode prisutnost prevelikih komada (D15+), kojih je ovim istraživanjem utvrđeno 4 %, i za koje isti autori navode nužnost ponovnoga cijepanja ili mogućnost primjene u otvorenim kaminima uz prethodno sortiranje.

5. Zaključci – Conclusions

Modelom za izračun proizvodnosti mehanizirane izrade kratko rezanoga i cijepanoga drva u duljinama 25 cm, konstruiranim na temelju rezultata istraživanja, moguće je odrediti proizvodnost za različite duljine i promjere obloga energijskoga drva hrasta. Model prepoznaje utjecaj duljine obloga drva na utrošak vremena potrebnoga za radni zahvat *prezeživanje i cijepanje* te na povećanje količine konačnoga proizvoda po komadu obloga energijskoga drva. No, istraživanjem nije utvrđen utjecaj promjera obloga energijskoga drva na utrošak vremena potrebnoga za radni zahvat *prezeživanje i cijepanje*, već model pokazuje samo pozitivan utjecaj promjera na povećanje količine konačnoga proizvoda po komadu obloga energijskoga drva.

Prostor za značajno povećanje kakvoće, a time i cijene proizvedenoga ogrjevnoga drva, nalazi se u optimizaciji prirodnoga prosušivanja sirovine radi dostizanja 25 % i manje sadržaja vode, odnosno zadovoljavanja

propisa razreda kakvoće A1 i A2 prema HRN EN ISO 17225-5:2014. No, treba imati na umu da proces prirodnoga prosušivanja može biti zahtjevan s obzirom na dulje razdoblje vezivanja kapitala i veće logističke napore u cjelokupnom proizvodnom sustavu.

Rezultati ovoga istraživanja i izazovi uočeni tijekom njegova provođenja upućuju na nužnost detaljnijega snimanja i analize radnoga zahvata *prezeživanje i cijepanje* te planiranja pokusa s ulaznom sirovinom različite kakvoće (s obzirom na zakrivljenost i pojavu kvrga) i sirovinom sortiranom na debljinske i razrede duljine.

Proizvodne količine i vrijednost kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva traže dodatna istraživanja proizvodnosti različitih strojeva za izradu kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva te kakvoće proizvedenoga ogrjevnoga drva, kao i analize troškovne pogodnosti cjelokupnoga lanca dobave.

Zahvala – Acknowledgements

Autori žele zahvaliti vlasnicima i djelatnicima tvrtke G.T.P. Šošarić na iskazanom interesu za sudjelovanje u istraživanju te na pomoći u organizaciji i provođenju istraživanja.

6. Literatura – References

- Cavali, R., S. Grigolato, A. Sgarbossa, 2014: Productivity and quality performance of an innovative firewood processor. *Journal of Agricultural Engineering*, 45(1): 32–36.
- HRN EN ISO 17225-5:2014 Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 5: Graded firewood. Hrvatski zavod za norme, Zagreb, 1–15.
- HRN EN ISO 18134-2:2015 Solid biofuels – Determination of moisture content – Oven dry method – Part 2: Total moisture – Simplified method. Hrvatski zavod za norme, Zagreb, 1–9.
- Kärhä, K., A. Jouhiaho, 2009: Producing chopped firewood with firewood processors. *Biomass and bioenergy*, 33(9): 1300–1309.
- Kofman, P. D., 2013: Getting the most out of your firewood. *Coford Connects, Processing/Products*, 31: 1–3.
- Kuric, D., 2014: Realizacija projekata i investicija u energetska postrojenja na drvenu biomasu. Mogućnosti primjene obnovljivih izvora energije. Zagreb, 20. veljače 2014.
- Lindroos, O., 2008: The effects of increased mechanization on time consumption in small-scale firewood processing. *Silva Fennica*, 42(5): 791–805.
- Manzone M., R. Spinelli, 2014: Efficiency of small-scale firewood processing operations in Southern Europe. *Fuel Processing Technology*, 122: 58–63.

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

Terzin, V., Đ. Vinković, 1983: Izrada kratko rezanog ogrjevnog drva i isporuka kupcima u kontejnerima. Šumarski list, 107 (11-12): 525–535.

Tomanić, S., 1974: Racionalizacija rada pri sječi, izradi i privlačenju drva. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Disertacija, 1–468.

Tomičić, B., 1984: Proizvodnja sitnog industrijskog drva za mehaničku i kemijsku preradu. Mehanizacija šumarstva, 9 (7-8): 147–157.

Visser, R., R. Spinelli, K. Stampfer, 2010: Four landing biomass recovery case studies in New Zealand clear-cut pine plantations. In proceeding of FORMEC 2010, Forest Engineering: Meeting the Needs of the Society and the Environment. Padova, July 11–14.

Vusić, D., Ž. Zečić, E. Paladinić, 2014: Optimization of energy wood chips quality by proper raw material manipulation. Proceedings Natural resources, green technology & sustainable development, I. Radojčić Redovniković, T. Jakovljević, J. Halambek, M. Vuković, D. Erdec Hendrih (ur.), Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology, University of Zagreb, 159–166.

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

www.dzs.hr (PC-Axis baze podataka: Robna razmjena s inozemstvom – Izvoz/uvoz po proizvodima Carinske tarife (CT 8/10) i zemljama namjene/podrijetla za 2010, 2011. i 2012. godinu; Izvoz/uvoz po proizvodima Kombinirane nomenklature (KN 8) i zemljama namjene/podrijetla za 2013. i 2014. godinu)

Abstract

Efficiency of Mechanized Production of Chopped Firewood

Despite considerable consumption of chopped firewood in Europe, a relatively small number of comparative studies has been conducted on productivity and costs of firewood processors, as well as on the quality of the produced firewood.

A method of continuous chronometry was applied in order to determine the efficiency of Binderberger SSP 450 E firewood processor in mechanized production of chopped firewood. Time consumption was determined and analyzed providing work elements of effective time and delays. Multiple regression analysis was used to investigate the dependence of time consumption of individual work elements on the dimensions (length and mid diameter) of round fuelwood. A model for the calculation of firewood processor productivity (on the effective time level) was developed based on parameters of significant influence. Efficiency was also evaluated from the aspect of product quality according to the standards for solid biofuels (HRN EN ISO).

With the mathematical model for firewood processor productivity (producing 25 cm length sessile oak chopped firewood), designed on the basis of the research results, it is possible to determine the productivity for different round fuelwood lengths and diameters. The model recognizes the influence of the length of round wood on the amount of time required for cross-cutting and splitting work element as well as on the increase of the quantity of final product per piece of round fuelwood. However, research has not determined the impact of round fuelwood diameter on the amount of time required for cross-cutting and splitting work element. Hence, the model recognizes only the positive influence of diameter on the increase of the final product amount per piece of round fuelwood.

The opportunity for a substantial increase in quality, and thus the price of fuel wood, lies in optimizing the natural drying of raw material in order to achieve 25 % or less of water content, in order to comply with the regulations of quality class A1 and A2 according to ISO 17225-5: 2014. However, it should be noted that the process of natural drying can be demanding with regard to the long period of capital binding and greater logistic efforts in the overall production system.

Research results and challenges encountered during the research indicate the necessity of more detailed recording and analysis of work element cross-cutting and splitting and experimental design with input raw material of different quality (due to the sweep and the occurrence of knots) and raw material sorted with respect to the diameter and length classes.

Production volume and value of chopped firewood demand further research on productivity of different firewood processors and on the quality of chopped firewood, as well as an analysis of cost benefits of the entire supply chain.

Keywords: firewood, productivity, cross-cutting and splitting, length, diameter, product quality

Adresa autorâ – *Authors' address:*

Dr. sc. Dinko Vusić*
e-pošta: vusic@sumfak.hr
Izv. prof. dr. sc. Željko Zečić
e-pošta: zecic@sumfak.hr
Zavod za šumarske tehnike i tehnologije
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Svetošimunska 25
10 000 Zagreb
Mladen Smetko, mag. ing. silv.
e-pošta: msmetko@gmail.com
Donji Desinec 164b
10 450 Jastrebarsko
HRVATSKA

* Glavni autor – *Corresponding author*

Primljeno (*Received*): 28. 08. 2015.
Prihvaćeno (*Accepted*): 18. 10. 2015.