

# Analiza utjecajnih čimbenika pri mehaniziranoj izradi kratko rezanog i cijepanog ogrjevnog drva

---

Friščić, Dino

Master's thesis / Diplomski rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry / Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:160930>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-02**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



**ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU**  
**ŠUMARSKI ODSJEK**

**DINO FRIŠČIĆ**

**ANALIZA UTJECAJNIH ČIMBENIKA PRI**  
**MEHANIZIRANOJ IZRADI KRATKO REZANOG I**  
**CIJEPANOG OGRJEVNOG DRVA**

**DIPLOMSKI RAD**

**ZAGREB, 2016.**

**ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU**  
**ŠUMARSKI ODSJEK**

**ANALIZA UTJECAJNIH ČIMBENIKA PRI**  
**MEHANIZIRANOJ IZRADI KRATKO REZANOG I**  
**CIJEPANOG OGRJEVNOG DRVA**

**DIPLOMSKI RAD**

Dodiplomski studij: Šumarstvo

Predmet: Okolišno prihvatljive tehnologije

Ispitno povjerenstvo:     1. Prof. dr. sc. Tomislav Poršinsky  
                                  2. Izv. prof. dr. sc. Željko Zečić  
                                  3. Dr. sc. Dinko Vusić

Student: Dino Friščić

Broj indeksa: 571/14

JMBAG: 0068211144

Datum odobrenja teme: 11.04.2016.

Datum predaje rada: 21.06.2016.

Datum obrane rada: 01.07.2016.

Zagreb, lipanj 2016.

*Zahvaljujem se svome mentoru prof. dr. sc. Tomislavu Poršinskom na potpori i stručnim savjetima u realizaciji mojih ideja čime je omogućio izradu ovoga diplomskoga rada.*

*Posebno bih se htio zahvaliti dr. sc. Dinku Vusiću na njegovom velikom doprinosu u svim etapama izrade ovoga rada osobito u području statistike. Također mu se zahvaljujem na strpljenju, stručnoj potpori i povjerenju ukazanima tijekom suradnje.*

*Veliko hvala mojim roditeljima koji su me podržavali i bili mi neprestani oslonac tijekom cijelog studija.*

*Hvala mojoj curi, sestri i svim divnim prijateljima koji su mi omogućili nezaboravne godine studiranja.*

Zagreb, 21. lipnja 2016. godine

## Dokumentacijska kartica

Naslov	Analiza utjecajnih čimbenika pri mehaniziranoj izradi kratko rezanog i cijepanog ogrjevnog drva
Title	<i>Analysis of factors influencing mechanized processing of palletized firewood</i>
Autor	Dino Friščić
Adresa autora	Varaždinska 2, Dubrava Križovljanska, 42208 Cestica
Rad izrađen	Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	Prof. dr. sc. Tomislav Poršinsky
Izradu rada pomogao	Dr. sc. Dinko Vusić
Godina objave	2016.
Obujam	40 stranica; 4 tablice; 51 slika; 38 navoda literature
Ključne riječi	Processor, promjer oblog drva, obična bukva, obični grab, ogrjevno drvo
Keywords	<i>Firewood processor, roundwood diameter, common beech, European hornbeam, firewood</i>
Sažetak	<p>Istraživanje utjecaja pojedinih čimbenika (promjera oblog energijskog drva, vrste drva i sadržaja vode) na utrošak vremena pojedinih radnih zahvata pri mehaniziranoj izradi kratko rezanog i cijepanog ogrjevnog, odnosno na proizvodnost izrade procesorom Posch Spaltfix S-360 provedeno je na oblom energijskom drvu obične bukve (<i>Fagus sylvatica</i> L.) i običnog graba (<i>Carpinus betulus</i> L.).</p> <p>Za cilj istraživanja postavljeno je metodama studija rada i vremena (kontinuiranim snimanjem radnoga procesa i naknadnom analizom) pri izradi kratko rezanog i cijepanog ogrjevnog drva utvrditi ovisnosti efektivnih vremena pojedinih radnih zahvata o značajkama ulazne sirovine; prvenstveno promjeru oblog energijskog drva te vrsti drva i značajkama izrađenog proizvoda sukladno propisu HRN EN ISO normi za čvrsta biogoriva. Rezultati istraživanja trebaju poslužiti optimizaciji proizvodnog procesa u cilju povećanja učinkovitosti proizvodnje i poboljšanja kakvoće proizvoda.</p> <p>Tijekom ukupno snimljenih 99,55 min prerađeno je 37 komada oblog energijskog drva obične bukve (prosječnog promjera 19,4±4,2 cm) ukupnog obujma 4,547 m<sup>3</sup>, što čini ostvarenu proizvodnost od 2,74 m<sup>3</sup>/h.</p> <p>Tijekom ukupno snimljenih 132,64 min prerađen je 51 komad oblog energijskog drva običnog graba (prosječnog promjera 18,4±3,8 cm) ukupnog obujma 5,645 m<sup>3</sup>, što čini ostvarenu proizvodnost od 2,55 m<sup>3</sup>/h.</p> <p>Prosječno je kratko rezano i cijepano ogrjevno drvo običnog graba sadržavalo 5,39 % manje vode (33,81 %) nego li drvo obične bukve (39,20 %).</p> <p>Modelom izračunata proizvodnost istraživanog procesora Posch Spaltfix S-360 kreće se od 0,77 m<sup>3</sup>/h za duljinu komada oblog energijskog drva obične bukve 4,0 m i promjer 10 cm do 4,76 m<sup>3</sup>/h za promjer oblog energijskog drva obične bukve 26 cm. Pri izrade kratko rezanog i cijepanog ogrjevnog drva običnog graba proizvodnost je prosječno manja za 1,8 %, odnosno za iste, prethodno navedene dimenzije, kreće se u rasponu od 0,76 m<sup>3</sup>/h do 4,68 m<sup>3</sup>/h. Temeljem rezultata proizvodnoga modela može se zaključiti da promjer oblog energijskog drva pozitivno utječe na proizvodnost istraživanog procesora sukladno zakonu obujma komada.</p>

# SADRŽAJ

	Stranica
1. UVOD	1
2. PROBLEMATIKA	4
2.1. Čvrsta biogoriva	4
2.2. Pridobivanje i korištenje energijskoga drva	10
2.2.1. Povijesni pregled	10
2.2.2. Tehnike i tehnologije izrade ogrjevnog drva	11
2.2.3. Strojevi za izradu ogrjevnog drva	12
2.2.3.1. Hidraulički cjepači	12
2.2.3.2. Procesori za izradu kratko rezanog i cijepanog ogrjevnog drva	13
3. CILJ ISTRAŽIVANJA	17
4. MJESTO I MATERIJALI ISTRAŽIVANJA	18
4.1. Mjesto istraživanja	18
4.2. Materijal istraživanja	21
4.2.1. Značajke sirovine	21
4.2.2. Procesor Posch Spaltfix S-360	22
5. METODE PRIKUPLJANJA I OBRADE PODATAKA	26
5.1. Prikupljanje podataka	26
5.2. Laboratorijska analiza uzoraka kratko rezanog i cijepanog ogrjevnog drva	28
5.3. Analiza podataka studija rada i vremena i izrada modela za izračun proizvodnosti	28
6. REZULTATI ISTRAŽIVANJA	31
6.1. Kakvoća kratko rezanog i cijepanog drva	31
6.2. Utjecajni čimbenici i model za izračun proizvodnosti	32
7. ZAKLJUČAK	37
8. LITERATURA	38

## POPIS TABLICA

	Stranica
Tablica 1. Dimenzije i tehnički maseni udio vode u ogrjevnom drvu	8
Tablica 2. Pretvorbeni faktori	9
Tablica 3. Rezultati t- testa	33
Tablica 4. Rezultati višestruke regresijske analize ovisnosti utroška vremena za prerezivanje o promjeru i vrsti oblog energijskog drva	34

## POPIS SLIKA

	Stranica
Slika 1. Drvna sječka	5
Slika 2. Briketi	5
Slika 3. Peleti	6
Slika 4. Kratko rezano i cijepano ogrjevno drvo	6
Slika 5. Iverač	11
Slika 6. Biobaler	11
Slika 7. Cjepači kao sastavni dio pogona za proizvodnju kratko rezanog i cijepanog ogrjevnoga drva	13
Slika 8. Procesor marke Spinosa	14
Slika 9. Procesor marke Posch	14
Slika 10. Prikaz oštrica cjepača za drvo	15
Slika 11. Horizontalni cjepač - prednja strana	16
Slika 12. Horizontalni cjepač - stražnja strana	16
Slika 13. Utovar oblog energijskog drva na utovarnu rampu	16
Slika 14. Glavna transportna traka procesora	16
Slika 15. Istraživani model procesora Posch Spaltfix S-360	17
Slika 16. Kolica i pila Primultini 1300	18
Slika 17. Sušara marke Incomac	18
Slika 18. Čistač rezane građe prije slaganja u palete	19
Slika 19. Odvozne rampe sa separatorima	19
Slika 20. Stovarište tehničke i energijske oblovine	19
Slika 21. Djelomično asfaltirano skladište	19
Slika 22. Glodalica	20
Slika 23. Blanjalica	20
Slika 24. Stol i klupe tip 1	20

Slika 25.	Stol i klupe tip 2	20
Slika 26.	Horizontalni cjepač	21
Slika 27.	Ulazna rampa	21
Slika 28.	Vertikalni cjepači	21
Slika 29.	Izgled palete kratko cijepanog ogrjevnog drva	21
Slika 30.	Sjedište tvrtke Posch u Leibnitzu	23
Slika 31.	Dijelovi procesora Posch Spaltfix S-360	24
Slika 32.	Hidraulički pokretana transportna traka	25
Slika 33.	Klin za sprečavanje micanja prilikom prepiljivanja	25
Slika 34.	Prepiljivanje komada energijskog drva	25
Slika 35.	Cijepanje prepiljenog komada	25
Slika 36.	Složene palete kratko cijepanog ogrjevnog drva	25
Slika 37.	Način označavanja energijske oblovine	26
Slika 38.	Manual za upis izmjerenih podataka	26
Slika 39.	Položaj kamere tijekom snimanja	27
Slika 40.	Šablona za izmjeru promjera cjepanice	27
Slika 41.	Excel baza	27
Slika 42.	Video software za obradu snimke	27
Slika 43.	Utvrđivanje vlage metodom sušionika	28
Slika 44.	Izgled uzoraka spremnih za sušenje	28
Slika 45.	Distribucija promjera oblog energijskog drva obične bukve	32
Slika 46.	Distribucija promjera oblog energijskog drva običnog graba	32
Slika 47.	Ovisnost utroška vremena za prepiljivanje o promjeru oblog energijskog drva obične bukve	34
Slika 48.	Ovisnost utroška vremena za prepiljivanje o promjeru oblog energijskog drva običnog graba	34
Slika 49.	Ovisnost utroška vremena za cijepanje o promjeru oblog energijskog drva obične bukve	35
Slika 50.	Ovisnost utroška vremena za cijepanje o promjeru oblog energijskog drva običnog graba	35
Slika 51.	Ovisnost proizvodnosti izrade kratko rezanog i cijepanog drva procesorom Posch Spaltfix S-360 o promjeru oblog energijskog drva	36



## 1. UVOD

Drvo je jedna od najčešćih i najstarijih tvari koje čovjek upotrebljava od svog postanka. Ono je, uz kamen i kosti bilo njegovo prvo oružje i oruđe te sredstvo za izradu nastamba. Otkrićem vatre postaje najvažniji materijal za loženje, odnosno proizvodnju toplinske energije, ali i pripremu jela. U srednjem vijeku, šume su se iskorištavale za proizvodnju ogrjeva i drvnog ugljena koji se koristio u tehnologiji proizvodnje metala. Velike količine drveta su također korištene za proizvodnju brodova i kuća.

Upoznavanje drveta kao materijala odvijalo se kroz povijest empirijski. Brojni izvori navode kako su prvi znanstveno istraživački radovi u izučavanju građe drva počeli u XVII. stoljeću, a naravno, traju i danas. Osobito se proučava odnos između građe i svojstava drva, bitnih za njegovu pravilnu uporabu. Danas je drvo, zahvaljujući svojim fizičkim, mehaničkim, kemijskim, termičkim, akustičnim i estetskim svojstvima, jedan od najšire upotrebljivanih prirodnih materijala, a područje njegove primjene i upotrebe stalno se mijenja. Dok ga u tehnici i građevinarstvu istiskuju drugi materijali (beton, željezo, plastika), dotle ono stalno osvaja nova područja (proizvodnja celuloze, papira i vlakana, kemijska prerada, gorivo) (Benić 1987).

U današnje vrijeme poskupljenja energije i energenata u svijetu, potrebno je okretati se dostupnim i raspoloživim izvorima energije u svrhu neovisnosti o uvoznjoj energiji i očuvanja okoliša. Feretić (2006) navodi kako sve veći broj stanovništva uzrokuje i sve veću potrošnju energije, posebice u zemljama u razvoju, za koje se procjenjuje da će do 2020. godine udio potrošnje energije narasti sa sadašnjih 33% na 55% od ukupne potrošnje energije u svijetu. Najveći udio potrošnje otpada upravo na fosilna goriva, pa se zbog toga očekuje još dugotrajna upotreba fosilnih goriva kao glavnih izvora energije.

Energetska proizvodnja Hrvatske također uvelike ovisi o fosilnim gorivima, najviše o nafti i prirodnom plinu, čije su rezerve ograničene. Republika Hrvatska se kao potpisnica Kyoto protokola obavezala na smanjenje emisije štetnih plinova i zaštitu okoliša, što je značajnim dijelom moguće ostvariti i okretanjem obnovljivim izvorima energije. Šumska biomasa kao obnovljivi izvor energije na europskoj i svjetskoj razini zauzima sve veći udio u zamjeni fosilnih goriva te u cilju očuvanja okoliša i drugih dobrobiti društva (Zečić i dr. 2012). Trendovi na svjetskoj razini ukazuju na polagani prelazak na obnovljive izvore energije koji prema Sawin-u i dr. (2015) sudjeluju s 19,1 % u svjetskoj potrošnji energije, a udio tradicionalne biomase u ukupnoj potrošnji energije u svijetu je otprilike 9 %.

Za proizvodnju toplinske (i električne) energije iz drvne biomase koriste se razni komercijalni oblici čvrstih biogoriva (drvni peleti, drvena sječka, drvni briketi i ogrjevno drvo).

Prema podacima Ministarstva gospodarstva Republike Hrvatske iz 2013. godine (<http://www.mingo.hr>), proizvodni kapaciteti za proizvodnju peleta u Hrvatskoj iznose 279 500 tona godišnje od čega je iskorišteno 65 %. Kapacitet proizvodnje briketa je procijenjen na oko 49 090 tona godišnje s tim da se proizvodnja briketa odvija periodično ovisno o dostupnoj sirovini iz drvoprerađivačke industrije.

Ogrjevno drvo ima određene prednosti u odnosu na druge oblike čvrstih biogoriva, jer je dostupno lokalnom stanovništvu te je relativno jednostavno za proizvesti. Jednom kada se drvo pridobije iz šume, priprema ovog goriva zahtjeva samo poprečno prerezivanje te cijepanje (Lindroos 2008).

Ogrjevno drvo u tradicionalnom obliku jednometarskih cjepanica i oblica, najčešće proizvedeno samoizradom, još je uvijek najznačajniji energent za proizvodnju toplinske energije u ruralnim područjima Republike Hrvatske (Vusić i dr. 2015). Vusić i Đuka (2015) navode kako su razlog tome i socijalno ekonomski čimbenici te odsutnost ozbiljnije potražnje za drvnom sječkom na domaćem tržištu. Također, ostala drvena čvrsta biogoriva (peleti, sječka, briketi) zahtijevaju uvođenje jednog ili više dodatnih sredstava rada, najčešće relativno visoke nabavne vrijednosti, čime troškovno učinkovita proizvodnja postaje uvjetovana zakonitošću obujma proizvodnje. Prema Panduru i dr. (2015) vrijednosti EROI (energijski povrat uloženoga) za drvenu sječku su manje u odnosu na ogrjevno drvo.

Tradicionalno, proizvodnja se i prodaja ogrjevnog drva temeljila na cjepanicama i/ili oblicama duljine jednog metra, a količina se iskazivala prostornim metrima (uz naknadni preračun u kubične metre). Mehaniziranjem radova pridobivanja drva tržištu je ogrjevno drvo ponuđeno i u obliku višemetarskog oblog energijskog drva (»višemetarsko prostorno drvo«). Uz značajnu racionalizaciju radova pridobivanja drva i prijevoza do kupca navedeni je proizvod svojim oblikom uvjetovao i dodatni angažman kupca u procesu prerade u oblik pogodan za korištenje – kratko rezano i cijepano drvo. U novije vrijeme, na tržištu se pojavljuje i kratko rezano i cijepano ogrjevno drvo na paletama (najčešće 1 m × 1 m × 1,8 m), koje s obzirom na dimenzije (duljine 25 cm, 33 cm i 50 cm) predstavlja oblik čvrstog biogoriva pogodan za neposrednu uporabu. Ogrjevno drvo duljine 50 cm koristi se za loženje sustava centralnog grijanja obiteljskog tipa, dok se za loženje kamina i manjih peći koristi ogrjevno drvo duljina od 25 cm i 33 cm. Sirovinu za preradu čini oblo energijsko drvo, najčešće običnog graba i obične bukve, a potom i drugih vrsta tvrdih listača.

Prerada i upotreba ogrjevnog drva pridonosi stvaranju dodatne vrijednosti na određenom području, što se očituje kroz otvaranje tvrtki za preradu drva i zapošljavanju ljudi u njima (Loibnegger 2011). Kuric (2014) navodi kako posljednjih godina sve veći broj poduzetnika

(113) počinje s proizvodnjom kratko rezanog i cijepanog ogrjevnog drveta, uglavnom za izvoz, a planirane količine energijskog drva za preradu u navedenim poduzećima 2014. godine iznosile su  $530 \times 10^3 \text{ m}^3$  neto iz državnih šuma. U 2014. godine ukupno je izvezeno  $659,5 \times 10^3 \text{ t}$  ogrjevnog drva pri čemu prednjači Italija sa 62 % zatim Slovenija sa 17 % potom Mađarska (12 %) te Austrija sa 8 % (<http://www.dzs.hr>).

Veliku prednost ogrjevnog drveta u odnosu na ostale energente čini njegova cijena koja je stabilna i donekle neovisna od cijena nafte i plina na svjetskom tržištu. Na temelju dosadašnjih iskustava s proizvodnjom kratko cijepanog ogrjevnog drveta može se reći da je potražnja za tim energentom koliko-toliko stalna osim u situaciji kakva je vladala ove godine u proljeće kada je cijena nafte na svjetskom tržištu značajno pala te je samim time pala i potražnja za kratko rezanim i cijepanim ogrjevnim drvetom. Razlog tome je vjerojatno lakša manipulacija i skladištenje loživog ulja u vidu manje potrebe za ljudskom intervencijom dok je kod sustava grijanja na cijepano ogrjevno drvo potrebno fizički ubaciti cijepanicu u peć. Međutim, zahvaljujući ubrzanom tehnološkom napretku na polju sagorijevanja biomase, današnji moderni sustavi grijanja na biomasu stvaraju istu razinu ugone za korisnike kao i sustavi koji koriste loživo ulje i plin (Smetko 2015).

Kärhä 2002 navodi da se proizvodnja ogrjevnog drva smatra vrlo jednostavnom radnom operacijom, s malo potencijala za značajniji napredak i razvoj pa možda tu leži razlog zašto je većina istraživanja u šumarstvu vezana uz drvnu sječku dok se kratko rezano i cijepano ogrjevno drvo zanemari. Lindros (2008) opovrgava navode Kärhä-e sistematizacijom devet dostupnih objava u razdoblju od 1986 do 2004. godine u kojima je očita velika varijabilnost proizvodnosti strojeva za izradu kratko rezanoga i cijepanoga drva (Manzone i Spinelli 2014).

Učinkovitost prerade obloga energijskoga drva u kratko rezano i cijepano ogrjevno drvo definira naravno utrošak vremena po jedinici proizvoda, ali svakako i kakvoća proizvoda (Vusić i dr. 2015). Današnje tehnologije prerade energijskoga obloga drva u kratko rezano i cijepano ogrjevno drvo usmjere su upravo na povećanje kakvoće istoga te smanjenje broja radnih operacija u samom proizvodnom procesu kako bi se povećala učinkovitost strojeva i smanjili troškovi proizvodnje. Kontrola kakvoće je potrebna kako bi se proizvelo čvrsto biogorivo najbolje moguće kakvoće s obzirom na postojeću sirovinu, odnosno radi izbjegavanja prerade vrsne sirovine u čvrsto biogorivo slabe kakvoće (Vusić i dr. 2014). Osim kakvoće, veoma važan smjer razvoja tehnologija prerade energijskog obloga drva je i sigurnost samih radnika.

## 2. PROBLEMATIKA

### 2.1 Čvrsta biogoriva

Prema normi HRN EN ISO 16559:2014 Čvrsta biogoriva – Nazivlje, definicije i opisi – u znanstvenom i tehničkom smislu, biomasa predstavlja materijal biološkog podrijetla, isključujući materijal pohranjen u geološkim formacijama i/ili pretvoren u fosile. Prema navedenoj normi biomasa se koristi za proizvodnju biogoriva i kao biomasa za drugu uporabu. Biogoriva dobivena iz biomase razvrstavamo na čvrsta, tekuća i plinovita dok biomasa za drugu uporabu predstavlja biomasu za industrijsku preradu i uporabu te za prehrambene potrebe, pri čemu se misli na izvore i oblike biomase biljnog i životinjskog podrijetla (Kranjčević i dr. 2015). Vrste čvrstih biogoriva, temeljne značajke i prosječne vrijednosti parametara kakvoće navedene su u normi HRN EN ISO 17225-1:2014 Čvrsta biogoriva – Specifikacije goriva i razredi – 1. dio: Opći zahtjevi. Od navedenih tržišnih oblika čvrstih biogoriva danas su komercijalno najzanimljivija upravi drvena čvrsta biogoriva, i to drvena sječka, drvni briketi i drvni peleti te ogrjevno drvo; bilo u tradicionalnom jednometarskom obliku ili u obliku kratko rezanog i cijepanog ogrjevnog drva.

#### *Drvena sječka*

Drvena je sječka (slika 1) prema normi HRN EN ISO 16559:2014 definirana kao usitnjena drvena biomasa u obliku čestica definirane veličine proizvedenih mehaničkim postupkom oštrim sječivom. Prema porijeklu izvorište drvene biomase za proizvodnju drvene sječke mogu biti šume ili plantaže, ostatak drveno-industrijske prerade, reciklirano drvo ili mješavine navedenih kategorija (Vusić i Pandur 2010). Drvena se sječka koristi za proizvodnju energije u velikim industrijskim sustavima grijanja (tvornice, stambene zgrade) te za proizvodnju električne energije, a prednost njezina korištenja dolazi do izražaja kod specijalizirano izrađenih kotlova (velika postrojenja) gdje se može koristiti i s većim postotkom vlage. Izradom drvene sječke omogućeno je veće iskorištenje i potpunija upotreba drvene biomase koja zbog svojih značajki nije prikladna za proizvodnju »tradicionalnih« drvnih sortimenata i inače ostaje neiskorištena u šumi.



Slika 1. Drvna sječka



Slika 2. Briketi

### *Briketi*

Briketi (slika 2) predstavljaju energent koji je po popularnosti prethodio peletima, a bio je raširen u nekim razvijenim zemljama gdje su ga koristili osvještiji kupci jer nije bilo prevelike razlike u cijeni u odnosu na klasična drvena goriva. Briketi su geometrijski pravilni komadi prešane usitnjene drvne sirovine, u pravilu valjkastog oblika. Po obliku, dimenzijama i načinu uporabe briketi slični su cjepanicama, ali imaju mnogo veći energetski potencijal i mnogo bolje izgaraju.. Proizvode se prešanjem suhog usitnjenog drvna i bez dodavanja vezivnih sredstava. Ogrjevna vrijednost briketa iznosi 18,5 MJ/kg, a energija koja se dobije izgaranjem 2 kg briketa ekvivalentna je onoj iz jedne litre loživog ulja (Krhen 2012). Problem briketa predstavlja njihova distribucija jer je briket nezgodan za skladištenje, većinom pakiran u vrećama od 5 kg do 20 kg, a najveći problem odnosi se na punjenje peći jer postupak nije moguće automatizirati što nas opet vraća na početak gdje vidimo da i nema neke razlike u načinu njegove upotrebe u kućnim ložištima u odnosu na kratko cijepano ogrjevno drvo.

### *Peleti*

Peleti su geometrijski pravilni komadići prešane usitnjene drvne sirovine valjkastog oblika (slika 3), a sam postupak peletiranja je moguće opisati kao metodu povećanja nasipne gustoće biomase mehaničkim tlakom (Šafran 2015). Peleti nastaju prešanjem usitnjene drvne biomase pod visokim tlakom. Pri vezivanju pomaže lignin koji je sastavni dio građe drveta. U procesu proizvodnje postoji maksimalni dozvoljeni postotak dodatnih vezivnih sastojaka (2%) koji

služe za poboljšanje energetske i uporabne značajke peleta. Najčešće se koristi kukuruzni škrob. Imaju relativno visoku ogrjevnu vrijednost koja u prosjeku iznosi 1720 kJ/kg ili 5 kWh/kg (Oberberger i Thek 2010). Peleti se koriste u raznim ložištima raznih dimenzija od kotlova za centralno grijanje i pripremu potrošne tople vode u obiteljskim kućama pa sve do stambenih, javnih, poslovnih zgrada i velikih industrijskih energana i termoenergetskih postrojenja (Krhen 2012).



Slika 3. Peleti



Slika 4. Kratko rezano i cijepano ogrjevno drvo

#### *Kratko rezano i cijepano ogrjevno drvo*

Ogrjevno drvo je u prvom redu namijenjeno proizvodnji topline u domaćinstvima. Od svih oblika čvrstih biogoriva, ogrjevno drvo je najzastupljeniji energent u kućanstvima ali tek nakon prerade u kratko rezano i cijepano ogrjevno drvo (slika 4). Ogrjevno se drvo u Hrvatskoj koristi kao energent za zagrijavanje prostora i pripremu tople vode osobito u područjima do kojih nije stigla plinska mreža, i ne postoje toplane. Također se koristi za pripremu hrane što je posljedica specifičnog načina pripreme hrane ali i tradicije. Ako promatrao ogrjevno drvo, kao trgovačku robu, ona se izrađuje s korom, od svih vrsta drveća i to samo od onih stabala i dijelova stabala koji nisu upotrebljivi u korisnije svrhe (tehnički i financijski pogodnije). Kao i svaka trgovačka roba, ogrjevno drvo mora zadovoljavati određene zahtjeve u pogledu oblika, dimenzija, stupnja vlažnosti, valjanosti obrade te slaganja (Janković 1987). Drvo za ogrjev, na temelju norme koja se i danas operativno koristi (JUS D.B5.023 1984), možemo promatrati kroz sljedeće značajke:

##### 1. Vrste drva:

- drvo tvrdih listača (bukva, grab, cer, bagrem, javor, jasen, brijest, klen i voćkarice),
- drvo mekih listača (breza, joha, lipa, topola, vrba),
- drvo četinjača (bor, smreka, jela, ariš).

## 2. Oblik:

- cjepanice – komadi drva duljine 1 m, s dozvoljenim odstupanjem od  $\pm 5$  cm. Izrađuju se cijepanjem oblog drveta promjera 15 cm naviše koje je s oba kraja prerezano pilom. Tetiva luka cjepanice iznosi 10 do 25 cm;
- oblice – izrađuju se od oblog drva, koje je s oba kraja prepiljeno pilom. Oblice su duljine kao i cjepanice, a promjera 7 do 25 cm;
- sječenicice – izrađuju se od oblog drva koje je na oba kraja presječeno sjekirom ili pilom. Promjera su 3 do 7 cm, a duljine su od 0,90 do 1,20 m;
- gule – kvrgavi komadi drva, teško cjepivi, debljine od 15 do 40 cm, a duljine od 0,50 do 1,20 m;
- panjevina – komadi drva dobiveni cijepanjem panja debljine 15 do 40 cm;
- otpaci – komadi drva koji otpadaju pri sječi, rezanju, cijepanju, tesanju i koranju u šumi, na pilani i CMS-u. Komadi drva su debljine 0,50 do 25 cm, širine 2 do 25 cm i duljine 15 do 120 cm.

## 3. Kvaliteta:

- I klasa – cjepanice i oblice. Dopuštene su kvрге svih vrsta i veličina, natrulost do 10 % od isporučene količine, 30 % prozuklih komada od isporučene količine, visina luka do 15 cm, neograničena usukanost;
- II klasa – cjepanice i oblice koje ne pripadaju I klasi te gule duljine 0,5 do 1,2 m i debljine 25 do 40 cm. Dopušta se zakrivljenost, usukanost je neograničena, 20 % trulih komada i 50 % prozuklih komada od isporučene količine, kvрге svih vrsta i veličina, komadi u obliku kratica koje zajedno čine duljinu i do 10 % od isporučene količine;
- Sječenicice – dopuštene sve kvрге, prozukli i natruli komadi do 30 % isporučene količine. Panjevina – zdrava, očišćena od zemlje i kamenja. Dopušta se 30 % prozuklih i natrulih komada i nečistoće do 5 % obujma drva;
- Otpaci – dopušta se 30 % natrulih i prozuklih komada.

## 4. Udio vode:

- sirovo – otprilike do 1 mjesec poslije sječe, s udjelom preko 40 % vode;
- šumski suho – oko 6 mjeseci poslije sječe, s udjelom vode 22 – 40 %;
- prosušeno – s udjelom vlage od 8 – 22 % i
- zračno suho – od 1 do 2 godine nakon sječe.

Navedena norma (JUS D.B5.023 1984) predviđa i mogućnost stavljanja ogrjevnog drva u promet u obliku oblovine dužine od 1m pa naviše (u praksi uobičajenog naziva „višemetarsko prostorno drvo“ ili sukladno novoj HRN ISO EN terminologiji prikladnijeg naziva višemetarsko oblo energijsko drvo)

Krpan i dr. (2015) navode kako je nužno pridržavati se terminologije utvrđene usvajanjem europske norme HRN EN 14588:2010 Čvrsta biogoriva – Nazivlje, definicije i opisi te HRN EN 14961-1:2010 Čvrsta biogoriva – Specifikacije goriva i razredi – 1. dio: Opći zahtjevi gdje je drvo za ogrjev ili energijsko drvo – drveno gorivo u kojemu je očuvan izvorni sastav drva, dimenzijski neprikladan za manipulaciju i korištenje kao čvrsto gorivo u kućanstvima, ugostiteljstvu i kotlovima za centralno grijanje manjih zgrada. Normom definirani jednometarski oblici (oblisce i cjepanice) te višemetarski oblici šumskih proizvoda, poprečnim se piljenjem i cijepanjem (mehaničkim) svode na manje dimenzije, tvoreći kratko rezano i cijepano drvo. Norma HRN EN 14 961–5:2011 kategorizira prvenstveno kratko rezano i cijepano ogrjevno drvo s obzirom na dimenzije i tehnički maseni udio vode (tablica 1) .

Tablica 1. Dimenzije i tehnički maseni udio vode u ogrjevnom drvu

Duljina (L) cm		Promjer (D), cm		Tehnički maseni udio vode (M), w – %	
L 20 -	<20 cm	D 2 -	D<2 cm –potpala	M 10	≤10%
L 20	20 cm ± 2 cm	D 5	2 cm ≤ D ≤ 5 cm	M 15	≤15%
L 25	25 cm ± 2 cm	D 10	2 cm ≤ D ≤ 10 cm	M 20	≤20%
L 30	30 cm ± 2 cm	D 15	10 cm ≤ D ≤ 15 cm	M 25	≤25%
L 33	23 cm ± 2 cm	D 20	10 cm ≤ D ≤ 20 cm	M 30	≤30%
L40	40 cm ± 2 cm	D 25	10 cm ≤ D ≤ 25 cm	M 35	≤35%
L 50	50 cm ± 4 cm	D 35	20 cm ≤ D ≤ 35 cm	M 40	≤40%
L 100	100 cm ± 5 cm	D 35 +	>35 cm navesti max	M 45	≤45%
L 100+	>100 navesti max vrijednost			M 55	≤55%
				M 55+	>55%

Iako je poznato da su neke vrste drveta »kaloričnije« nego druge, zapravo je prava istina da energetska vrijednost drva najviše ovisi o količini, odnosno udjelu vode, a manje i o vrsti drveta. Ista količina u jedinici mase drva četinjača ima pri istom udjelu vode nešto višu ogrjevnu vrijednost od drva listača. Razlog leži u tome što drvo četinjača sadrži više smole i lignina. Međutim, po obujmu (m<sup>3</sup>, prostorni metar) drvo tvrdih listača daje veću količinu topline jer je veće gustoće. Iz tog razloga, razumno je zašto je veća potražnja za ogrjevnim drvom listača.



Također, zbog veće poroznosti kod četinjača i mekih listača, pristup zraka je lakši zbog čega ove vrste brže izgaraju uz veliki vrući plamen, tj. daju veći pirometrijski efekt (Janković 1987).

Kratko rezano i cijepano ogrjevno drvo koje se koristi u obiteljskim kućama ne bi smjelo imati udio vode veći od 25 %. Svako drvo sa većim postotkom vlage dovodi do pada temperature ispod optimalne, što uzrokuje povećanu količinu dima te je moguće i oštećenje samog dimnjaka (Francescato i dr. 2008). Također, korištenjem vlažnog drveta opada i njegova ogrjevna vrijednost, a samim time i proizvedena toplina, budući da se dio energije sadržane u drvetu troši na isparavanje vode. Opskrba visokokvalitetnim kratko cijepanim ogrjevnim drvom zahtjeva prikladna skladišna postrojenja. Cijepano drvo spremno za loženje doseže potrebnu suhoću, ovisno o vrsti drva i uvjetima skladištenja, otprilike nakon jedne ili dvije godine skladištenja.

Kao što se iz prethodnog može zaključiti, najčešći oblik u kojem se ogrjevno drvo koristi je kratko rezano i cijepano ogrjevno drvo. U osnovi, svaka vrsta drva se može preraditi u kratko rezano i cijepano drvo. Jedino vrlo trulo, onečišćeno ili drvo tretirano kemikalijama nije prikladno budući da bi brzo zagušilo ili stvorilo naslage čađe u sustavu grijanja. Cjepanice kratko rezanog i cijepanog ogrjevnog drva se obično prodaju po prostornom metru. Ipak, treba imati na umu da se ogrjevno drvo može prodavati i u drugim mjernim jedinicama, a za preračun se mogu koristiti pretvorbeni faktori (tablica 2).

Tablica 2. Pretvorbeni faktori

JEDINICA	Oblo energijsko drvo	Cjepanice od 1 metra	Kratko rezano i cijepano drvo	
	m <sup>3</sup>		prm	m <sub>n</sub>
1 m <sup>3</sup> oblog energijskog drva	1	1,45	1,2	2
1 prm cjepanica od 1 metra	0,69	1	0,8	1,4
1 prm kratko rezanog i cijepanog drva	0,85	1,2	1	1,7
1 m <sub>n</sub> kratko rezanog i cijepanog drva	0,5	0,7	0,6	1

Uobičajene jedinice koje se koriste u šumarskoj i drvnoj industriji su:

- kubni metar (m<sup>3</sup>) – za tehničku oblovinu;
- prostorni metar (prm) - za složajeve drva koji dosežu obujam od 1 kubnog metra;
- nasipni metar (m<sub>n</sub>) - koristi se za manje, rasute komadiće drva (npr. drvnu sječku i drvno iverje).

Uz brigu uloženu u slaganje, količina drva u prostornom metru ovisi o obliku drva te o promjeru i dužini rascijepljenih komada drva. Kako se posljednjih nekoliko godina u

produktivni ogrjevnog drveta sve više koriste visoko mehanizirani strojevi, cijepalice kratko rezanog i cijepanog ogrjevnog drva se sve češće prodaju u rasutom obliku u jedinici obujma ( $n_m$ ) ili u jedinici mase (kg). Prilikom prodaje u jedinici mase izrazito je značajno utvrditi udio vode koji osim energijskog iskorištenja ima i odlučujući utjecaj na financijski efekt, odnosno cijenu.

Da bismo osigurali ekonomski opravdano grijanje drvo bi moralo biti uskladišteno u natkrivenom prostoru izloženom suncu i vjetru, podignuto nekoliko cm iznad tla kako ne bi upijalo vlagu iz tla. Također je dobro napomenuti kako unatoč pravilnom skladištenju, drvo tijekom vremena gubi ogrjevnu vrijednost zbog prirodnih procesa raspadanja.

Sa razvojem normizacije kupcima je omogućeno da uvidom u deklaraciju saznaju potrebne informacije o proizvodu, a proizvođačima da se deklariraju na tržištu i prilože dokaz kvalitete svojih proizvoda (Kärhä i Jouhano2009).

## **2.2 Pridobivanje i korištenje energijskoga drva**

### **2.2.1. Povijesni pregled**

Šumarstvo u svijetu je podvrgnuto ubrzanom razvoju mehanizacije u posljednjih pedesetak godina (Lindroos 2008). Tehnički razvoj hrvatskog šumarstva, započinje prije gotovo dva i pol stoljeća s razvojem šumarstva kao struke, odnosno ustrojem prvih organiziranih oblika šumarske službe na području današnje Hrvatske (Matić 2011). Poseban pečat tom razvoju daje uvođenje mehaniziranih sredstava u gospodarenju šumama.

Krajem 1960 i početkom 1961. započinje drugi, uspješan pokušaj mehaniziranja sječe i izradbe drva motornim pilama kojima rukuje jedan radnik, i to u prvom redu motornom pilom Stihl BLK, odnosno tada manjim brojem pila Stihl Contra (Trohar 1981). Od toga trenutka u cijelom hrvatskom šumarstvu započinje sve veća primjena motornih pila na sječi i izradbi drva koje istiskuju rad ručnim pilama, a sjekira postaje pomoćni alat (Kranjec i Poršinsky 2011).

Također su vrlo značajne sedamdesete godine prošlog stoljeća kada su upotrijebljeni prvi specijalizirani šumski strojevi za privlačenje drva (Bedžula i Slabak 1974.).

Uvođenjem modernih strojeva u sustave pridobivanja drva, smanjen je jedinični trošak rada kao posljedica porasta produktivnosti pridobivanja oblog drva (Vusić i Đuka 2015). Početkom osamdesetih godina prošlog stoljeća počinje se realizirati ideja o potpunoj mehanizaciji privlačenja energijskog i celuloznog drva. Ponuda samarice na iznošenju drva naglo otpada te je danas gotovo i nema dok se proizvodnja jednometarskog ogrjevnog i celuloznog drva u proredama i prebornim sječinama napušta, a zadržava se u oplodnim sječinama naših nizinskih šuma u vidu samoizrade lokalnog stanovništva uz obaveznu uspostavu šumskog reda. Takav

način pridobivanja ogrjevnog drva zadržan je do danas. Zbog omogućavanja primarnog i daljinskog transporta mehaniziranim sredstvima rada nekadašnje prostorno se drvo sve više izrađuje u obliku višemetarskog oblog drva („višemetarsko prostorno drvo“ – za ogrjev, za celulozu, za drvene ploče) standardiziranih duljina. Zbog potražnje za novim tržišnim oblicima čvrstih biogoriva uvode se i novi strojevi u postojeće sustave prodobivanja i prerade drva. Uvode se iverači za proizvodnju drvne sječke, harvesteri (najčešće ograničeni na šumske kulture) te bandleri (više pokazno), a u perspektivi se može očekivati i korištenje biobalera (slika 5 i slika 6). Instalira se i značajan broj različitih strojeva za proizvodnju kratko rezanog i cijepanog ogrjevnog drva.



Slika 5. Iverač



Slika 6. Biobaler

### 2.2.2. Tehnike i tehnologije izrade ogrjevnog drva

Kod izrade ogrjevnoga drva, ovisno o tome dali je proces ručni ili mehanizirani, koriste se razni alati ili strojevi poput motorne pile, sjekire, hidrauličnih cjepača, cirkularnih pila, klinova i procesora.

Bašić Palković (2002) navodi tehnike koje se primjenjuju u svrhu dorade i izrade ogrjeva na sljedeće:

- prepiljivanje,
- cijepanje,
- sječenje.

Prepiljivanje je presijecanje drvnih vlaknaca, obično u okomitoj ili paralelnoj ravnini s obzirom na drvena vlakanca, a tim se postupkom treba savladati čvrstoća drveta, te trenje i uklještenje. Piljenje se obično vrši pilama lančanicama te cirkularnim pilama.

Cijepanje je rastavljanje žice drveta po dužini. Pri tome se javljaju otpori čvrstoće drveta prema cijepanju tj. elastičnost drveta. Čvrstoća na cijepanje je definirana kao otpor što ga drvo

pruža u rastavljanju svoje mase na dva dijela u longitudinalnom smjeru. Cijepanje se obično vrši prodiranjem klina kroz drvo.

Sječenje je rastavljanje drvnih vlaknaca pod određenim kutom (3 do 90 stupnjeva). Ako je kut manji od 3 stupnja to se naziva tesanje, a ako je jednako 0 stupnjeva, to je već cijepanje.

Izrada ogrjevnoga drva može se odvijati u šumi ili na stovarištu te u specijaliziranim pogonima za izradu ogrjevnog drveta. Izrada u šumi ili na stovarištu predstavlja najjednostavniju metodu izrade ogrjevnog drva. Karakteristike izrade na stovarištu su mali proizvodni prostor, mali broj radnika i mobilni strojevi. Od strojeva je potreban cjepač na traktorski ili vlastiti pogon, motorna pila ili manji mobilni procesor te sjekira. Tako izrađeno drvo se odmah nakon izrade tovari i isporučuje kupcu.

Izrada u specijaliziranim pogonima podrazumijeva postojanje postrojenja za izradu ogrjevnog drveta. Postrojenje za proizvodnju ogrjevnog drva možemo podijeliti na slijedeće dijelove: stovarište, pogon prerade drva i skladište gotovih proizvoda. Višemetarsko oblo energijsko drvo sa stovarišta se prevozi pomoću viličara, utovarivača ili nekog drugog stroja u pogon proizvodnje ogrjevnog drveta. Sam proces obrade je jednostavan te se odvija na jednom ili više cjepača drva i/ili profesionalnim linijama za cijepanje i rezanje. Iz takve linije izlazi gotov proizvod te slijedi proces slaganja i skladištenja. Proizvod se slaže na paletama i u mrežama. Tako složeno ogrjevno drvo se prenosi viličarem na skladište gotovih proizvoda.

### **2.2.3. Strojevi za izradu ogrjevnog drva**

Strojeve za izradu ogrjevnog drva možemo podijeliti na hidrauličke cjepače i na procesore, a svoju primjenu nalaze kod amaterske izrade ogrjeva za vlastite potrebe i u profesionalnoj proizvodnji tvrtki. Uporabom strojeva u procesu izrade ogrjevnoga drva smanjuje se fizički napor radnika i povećava proizvodnost rada.

#### **2.2.3.1. Hidraulički cjepači**

Cjepače možemo podijeliti na one koji se koriste u domaćinstvima i profesionalne cjepače (slika 7). Mogu biti pokretani preko kardanskog vratila traktora ili elektromotora. Također se dijele prema mobilnosti, vrsti pogona, masi, radnom alatu i dimenzijama. Njihova je glavna svrha smanjiti fizički napor radnika i povećati proizvodnost izrade cijepanog ogrjevnog drveta. Cjepače nalazimo i u specijaliziranim pogonima za proizvodnju kratko rezanog i cijepanog ogrjevnog drva kao pomoćne strojeve.



Slika 7. Cjepači kao sastavni dio specijaliziranog pogona za proizvodnju kratko rezanog i cijepanog ogrjevnoga drva

### **2.2.3.2. Procesori za izradu kratko rezanog i cijepanog ogrjevnog drva**

Procesor predstavlja djelomično ili potpuno automatizirani stroj konstruiran za preradu višemetarskog energijskog drva u kratko rezano i cijepano ogrjevno drvo (slika 8 i slika 9).



Slika 8. Procesor marke Spinosa

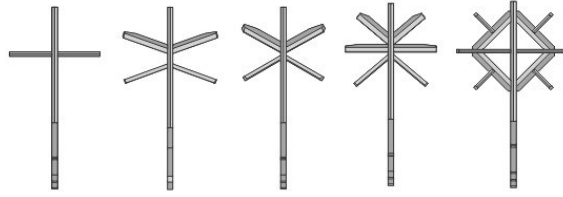


Slika 9. Procesor marke Posch

Danas postoji mnogo proizvođača procesora pa su i tehničke značajke svakog od njih različite s obzirom na pogon, promjer prepiljivanja, snagu cijepanja, itd. Međutim, razlike u principu rada gotovo da i nema. Možemo razlikovati djelomično automatizirane procesore kod kojih je potrebno pomicanjem ručke na kontrolnoj jedinici izvršiti radnju cijepanja i potpuno automatske koji radnje prepiljivanja i cijepanja obavljaju automatski. Procesori se obično sastoje od 6 glavnih dijelova:

- pogonski dio (elektromotor i sl.) za pokretanje stroja,
- ulazna rampa za energijsko drvo,
- transportna traka za dovođenje energijskog drva u položaj za piljenje,
- uređaj za prepiljivanje (pila lančanica, kružna pila),
- cjepač (hidraulički pokretan cilindar) i
- transportna traka za transport cjepanica.

Procesori za izradu kratko rezanog i cijepanog drva kombiniraju dvije radnje: piljenje i cijepanje te tako osiguravaju viši stupanj automatizacije procesa i višu proizvodnost. Također s obzirom na promjene promjera prepiljenoga komada drva sposobni su prilagoditi visinu noža cjepača, a broj oštrica se može mijenjati prema veličini i broju cjepanica koje proizvodimo (slika 10). Procesori mogu biti pokretani preko elektromotora, kardanskog vratila traktora ili čak preko benzinskog motora. S obzirom na veliku varijabilnost tehničkih značajki svakoga od proizvođača procesora i više proizvodnih linija istih, možemo reći da ne postoje ograničenja u vidu duljine i promjera energijskoga obloga drva.



Slika 10. Prikaz oštrica cjepača za drvo

Procesori se obično instaliraju unutar proizvodnog dijela poduzeća koje se bavi proizvodnjom ogrjevnog drva ili na neko drugo mjesto koje je predviđeno za doradu energijskog drva u kratko rezano i cijepano ogrjevno drvo.

Ručna manipulacija energijskim drvom svodi se na prijevoz drva sa stovarišta do ulazne rampe procesora ili u istraživanom slučaju do horizontalnog cjepača (slika 11, 12) gdje se obavlja primarno cijepanje i utovar cijepanog energijskog drva na ulaznu rampu cjepača (zbog ograničenja promjera prepiljivanja procesora Posch Spaltfix S-360). Ukoliko je promjer energijskog drva unutar mogućeg promjera prepiljivanja procesora, obavlja se direktan utovar na ulaznu rampu (slika 13). Svaki se komad oblog energijskog drva kreće transportnom trakom (slika 14) prema poziciji gdje će biti prepiljen alatom za piljenje (cirkularnom pilom) okomito na drvena vlakanca u manji komad određene dimenzije te će nakon toga taj komad biti iscijepan na manje komade. Kada je piljenje završeno, manji komad pada u poziciju gdje će biti pogurnut hidrauličnim pomičnim dijelom na nož cjepača koji se, kao što je već prije spomenuto, može prilagoditi promjeru prepiljenog komada te na taj način omogućava dobivanje optimalnih dimenzija cjepanica s obzirom na zahtjeve tržišta.



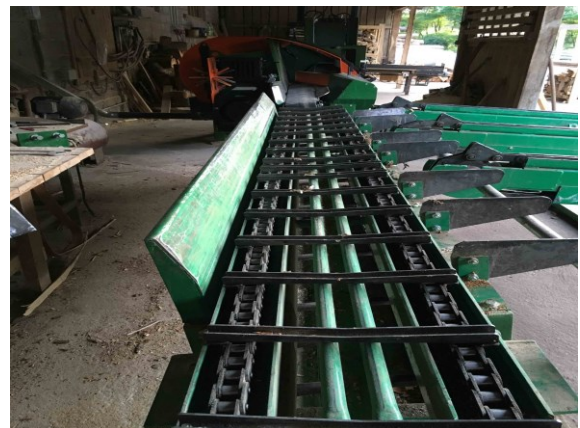
Slika 11. Horizontalni cjepač - prednja strana



Slika 12. Horizontalni cjepač - stražnja strana



Slika 13. Utovar oblog energijskog drva  
na utovarnu rampu



Slika 14. Glavna transportna traka procesora

Veliku pažnju prilikom rada na procesorima (i cjepačima) treba obratiti sigurnosti i zaštiti na radu sukladno normama HRN EN 609-1:2010 (Poljoprivredna i šumarska mehanizacija - Sigurnost cjepača - 1.dio: Klinasti cjepači) i HRN EN 609-2:2010 (Poljoprivredna i šumarska mehanizacija - Sigurnost cjepača - 2. dio: Vijčani cjepači); uz napomenu kako se navedene norme odnose na klinaste cjepače, a procesor ima i uređaj za prepiljivanje koji također može predstavljati izvor opasnosti. Za zaštitu od mehaničkih opasnost najvažnije je pravilno rukovanje sredstvima rada, te njihova ispravnost. Radnici moraju biti osposobljeni za siguran rad te se moraju pridržavati uputa za siguran rad na strojevima.



### 3. CILJ ISTRAŽIVANJA

Za cilj istraživanja postavljeno je metodama studija rada i vremena (kontinuiranim snimanjem radnoga procesa i naknadnom analizom) pri izradi kratko rezanog i cijepanog ogrjevnog drva procesorom Posch Spaltfix S-360 utvrditi ovisnosti efektivnih vremena pojedinih radnih zahvata o značajkama ulazne sirovine; prvenstveno promjeru oblog energijskog drva te vrsti drva i značajkama izrađenog proizvoda sukladno propisu HRN EN ISO normi za čvrsta biogoriva. Rezultati istraživanja trebaju poslužiti optimizaciji proizvodnog procesa u cilju povećanja učinkovitosti proizvodnje i poboljšanja kakvoće proizvoda.



Slika 15. Istraživani model procesora Posch Spaltfix S-360

## 4. MJESTO I MATERIJALI ISTRAŽIVANJA

### 4.1 Mjesto istraživanja

Istraživanje učinkovitosti izrade kratko rezanog i cijepanog ogrjevnog drveta vršeno je u pogonu tvrtke Pilana proizvodnja i trgovina Vlado Friščić (Pilana Friščić) u Dubravi Križovljanskoj nedaleko Varaždina.

Pilana Friščić počela je s radom 1986. godine kada je otvoren obrt za proizvodnju i trgovinu drvene građe od strane sadašnjeg vlasnika Vlade Friščića. U početku je uglavnom vršena usluga proreza trupaca za druge pravne i fizičke osobe, a danas se prerađuju vlastiti trupci koji se kupuju od Hrvatskih šuma d.o.o. Zbog premalih ugovornih količina tehničke oblovine, Pilana Friščić i dalje vrši uslugu proreza trupaca kako bi pokrila svoje godišnje kapacitete i zadržala zaposlenost svojih djelatnika.

Proizvodnju Pilane Friščić možemo podijeliti na sljedeće segmente:

- pilansko postrojenje za proizvodnju rezane građe svih dimenzija, debljine, širine i dužine,
- sušara za sušenje rezane građe (slika 17),
- stolarska radiona za proizvodnju vrtnog namještaja (stolovi i klupe) i
- pogon za proizvodnju kratko cijepanog ogrjevnog drveta.

Pilansko postrojenje za proizvodnju rezane građe čine:

- utovarna rampa za prihvat tehničke oblovine,
- kolica i pila Primultini 1300 (slika 16),
- odvozne rampe sa separatorima (slika 19),
- okrajčivač i cirkular,
- čistač i višelisni cirkular.(slika 18) i
- prostor za slaganje paleta.



Slika 16. Kolica i pila Primultini 1300



Slika 17. Sušara marke Incomac



Slika 18. Čistač rezane građe prije slaganja u palete



Slika 19. Odvozne rampe sa separatorima

Postrojenje je smješteno u proizvodnoj zgradi u sklopu koje se nalazi brusiona, blagovaona, alatnica te sanitarni čvor. Sastavni dio tvrtke čine stovarište za tehničku i energijsku oblovinu (slika 20) te otvoreno i djelomično asfaltirano skladište (slika 21).

Prerađuju se sve vrste drva, a najviše bukva, jela i smreka. Glavni pilanski proizvod je bukova rezana građa svih dimenzija, debljine, širine i dužine (okrajčene daske, bukove samice i polusamice, ...). Preradom tehničke oblovine jele, smreke i ostalih četinjača proizvodi se kvalitetna drvena građa za krovista (letve, štafle, grede, rezana građa, ...). Uz primjenu tehnološku obradu, i kvalitetnu sirovinu, odgovaraju na brojne zahtjeve kupaca.



Slika 20. Stovarište tehničke i energijske oblovine



Slika 21. Djelomično asfaltirano skladište

Sušara kapaciteta 40-60 m<sup>3</sup> omogućuje zadovoljenje zahtjeva kupaca za suhom drvenom građom. Tijekom godina, se ulaganjem u tehnologiju obrade drveta značajno proširio proizvodni program, a samim time i proizvodni kapaciteti. Godišnji kapacitet prerade tehničke oblovine iznosi 12 000 m<sup>3</sup>, dok kapacitet prerade energijske oblovine za izradu kratko rezanog i cijepanog ogrjevnog drva, iznosi 6000 m<sup>3</sup>.

Stolarska radiona opremljena je svim strojevima i alatima (blanjalice, glodalice, freze, ...) za proizvodnju vrtnog namještaja poput klupa i stolova (slika 22, slika 23, slika 24, slika 25).



Slika 22. Glodalica



Slika 23. Blanjalica



Slika 24. Stol i klupe tip 1



Slika 25. Stol i klupe tip 2

Pogon za proizvodnju ogrjevnog drva čine:

- horizontalni cjepač i kran za utovar višemetarskog energijskog drva na ulaznu rampu (slika 26),
- ulazna rampa za prihvat komada višemetarskog energijskog drva (slika 27),
- procesor Posch Spaltfix S-360 za rezanje i cijepanje energijskog drva (slika 15),
- izlazni transporter i
- dva vertikalna cjepača za konačno cijepanje drva (slika 28).



Slika 26. Horizontalni cjepač



Slika 27. Ulazna rampa

Prema proizvodnom programu izrađeno se ogrjevno drvo pakira u palete odgovarajućih dimenzija, tako da zadovoljava standarde kvalitete i čvrstoće, što omogućava siguran transport i mogućnost višekratnog premještanja. Ogrjevno se drvo pakira u palete dimenzija 1,00 m × 1,00 m × 1,80 m (slika 29). Duljine cijepanica iznose 25 cm, 33 cm i 50 cm, a vrste koje se prerađuju su obična bukva i obični grab.



Slika 28. Vertikalni cjepači



Slika 29. Izgled palete kratko cijepanog ogrjevnog drva

## 4.2 Materijal istraživanja

### 4.2.1 Značajke sirovine

Obična bukva (*Fagus sylvatica* L.)

Bukva je najrasprostranjenija vrsta drveća u Republici Hrvatskoj. Listopadno je drvo i jedina vrsta u Europi koja se prirodno javlja na nadmorskim visinama od 100 pa sve do 2000 metara.

Bukovina je tvrda (540 – 780 – 1100 bara), na pritisak je čvrsta (350 – 530 – 840 bara), na vlak čvrsta (570 – 1350 – 1800 bara), na cijepanje čvrsta (6,65 bara), vrlo velikog elasticiteta

(160 000 bara), trajnost joj je malena (manja od 4 godine), kalorijska snaga velika (7490 MJ/prm odnosno 10 700 MJ/m<sup>3</sup>). Velike je gustoće; svježje oborena 820 – 1070 – 1270 kg/m<sup>3</sup>.

Greške koje se javljaju kod bukve su zakrivljenost, upala kore, zimotrenost (raspukline od studeni), crvena (neprava) srž, piravost, bijela trulež i dr.

Bukovina se upotrebljava u visokoj gradnji, izradi stepeništa, kao rudničko ili bačvarsko drvo, za izradu namještaja, klavira, furnira, parketa, kundaka za puške, za izradu sportskih potrepština, kao celulozno drvo,...

Ogrjevno drvo bukve omiljeno je u kućanstvima zbog visoke kalorijske vrijednosti te zbog svojstva da ne izgara ni suviše polako ni suviše brzo te producira žar dugog trajanja.

Trgovački sortimenti koji se dobivaju od bukvine su trupci za piljenje i ljuštenje, piljena građa, letve za pokućstvo, držala za metle, dužice, vesla, pragovi, itd.

#### Obični grab (*Carpinus betulus* L.)

Stabla graba mogu biti visoka do 25 m, krošnja im je nepravilna, u obliku metle, drvo je bakuljavo, godovi nisu markantni, a linija goda je valovita. Kasno drvo je nešto tamnije, difuzno porozno, a traci niski i tanki, često složeni.

Grabovina je tvrda (670 – 890 – 1260 bara, odn. daN/cm<sup>2</sup>), na pritisak čvrsta (440 – 660 – 800 bara, odn. daN/cm<sup>2</sup>), na vlak čvrsta (470 – 1350 – 2000 bara, odn. daN/cm<sup>2</sup>), na udarac čvrsta (80 kJ/m<sup>2</sup>); srednje teško se cijepa (4,45 bara, odn. daN/cm<sup>2</sup>), vrlo velikog elasticiteta (162.000 bara, odn. daN/cm<sup>2</sup>). Torzijske vrijednosti za grab kreću se u okvirima 215 – 263 – 340 bara, odn. daN/cm<sup>2</sup>. Grab je slabo trajna vrsta, velike ogrjevne snage (7,75 GJ/pm, odn. 11,06 GJ/m<sup>3</sup>), teško se obrađuje, zacjeljuje pri blanjanju, vrlo dobro drži čavle te se osrednje polira.

Trgovački sortimenti koji se dobivaju pridobivanjem i preradom drva graba su: trupci, piljena građa, obručevi, drvo za suhu destilaciju, ogrjevno drvo itd.

#### 4.2.2 Procesor Posch Spaltfix S-360

Procesor Posch Spaltfix S-360 proizvodi austrijska tvrtka Posch sa sjedištem u Leibnitzu (slika 30). Povijest tvrtke seže u 1947. godinu gdje je iz male bravarske radionice koja je proizvodila strojeve namijenjene prvenstveno poljoprivredi (komušanje kukuruza), nastala današnja, vodeća tvrtka u proizvodnji strojeva za obradu drveta. Asortiman ponude strojeva može se svrstati u 6 kategorija, a to su:

- strojevi za cijepanje drva,
- strojevi za rezanje drva,

- strojevi za rezanje i cijepanje drva,
- strojevi za rukovanje s ogrjevnim drvom (pakiranje, transportiranje),
- strojevi za usitnjavanje drva i
- strojevi za guljenje kore.

Unutar svake kategorije, tvrtka nudi više proizvoda za profesionalnu i/ili kućnu upotrebu.



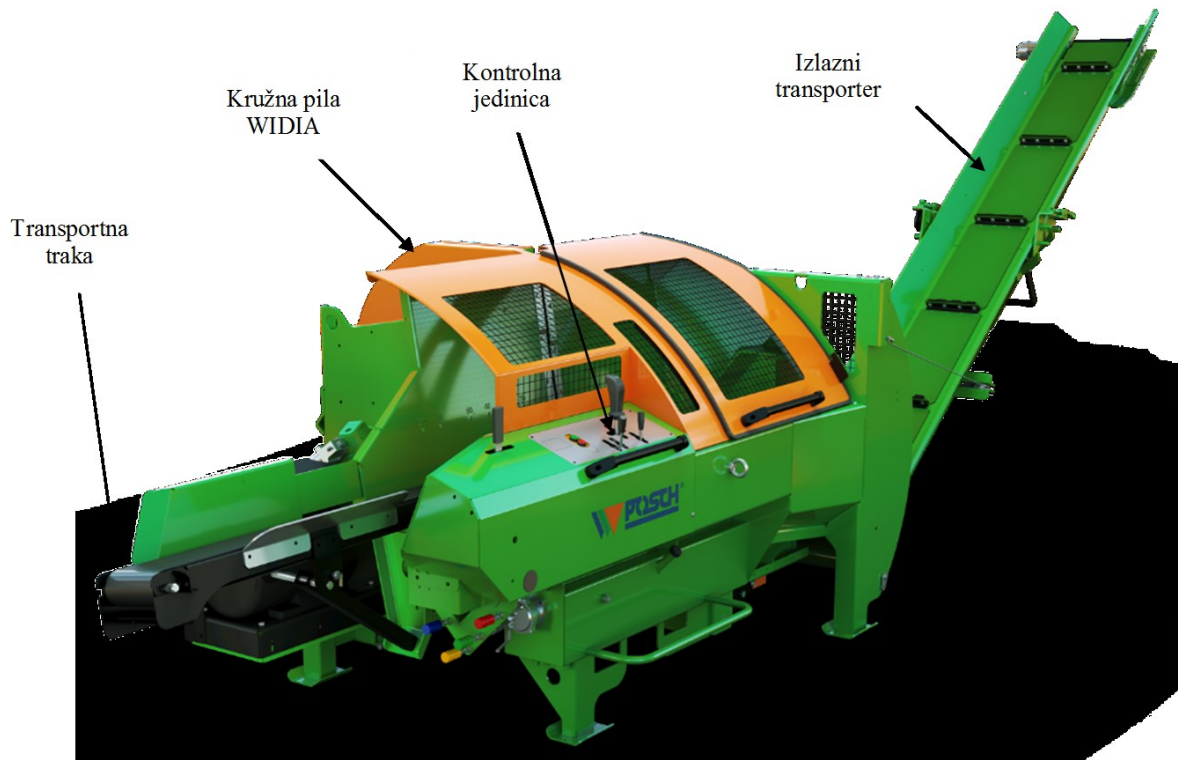
Slika 30. Sjedište tvrtke Posch u Leibnitzu

### *Tehničke značajke*

Posch Spaltfix S-360 pripada kategoriji strojeva (procesora) za rezanje i cijepanje drva. To je nošeni stroj koji može biti pokretan pomoću kardanskog vratila traktora ili pomoću elektromotora, a služi za doradu oblog drva prepiljivanjem i cijepanjem u kratko rezano i cijepano ogrjevno drvo.

Sastavni dijelovi procesora su: hidraulički pokretana transportna traka za dopremu oblog energijskog drva u položaj za piljenje, uređaj za prepiljivanje (kružna pila WIDIA), hidraulični cilindar (cjepač) potisne snage 12 t, transporter za odvoz iscijepanog ogrjeva, elektromotor snage 22 kW i 1450 rpm., kontrolna i upravljačka jedinica te uređaj za usisavanje piljevine (slika 31). Duljina cjepanica koje može izraditi su 25 cm, 33 cm i 50 cm. Maksimalan promjer energijskoga obloga drva koji može prepiliti je 35 cm. Masa procesora bez transportera iznosi

1260 kilograma dok mu je duljina 370 cm, širina 190 cm i visina 160 cm. Nabavna cijena novog uređaja bez transportera iznosi 21 000 eura.



Slika 31. Dijelovi procesora Posch Spaltfix S-360

### *Princip rada*

Komad oblog energijskog drva se pomoću hidraulički pokretane transportne (slika 32) trake pomiče prema mjestu gdje će ga zaglaviti klin prije samog prepiljivanja kako ne bi došlo do nenadanog micanja (slika 33). Nakon toga vrši se prepiljivanje okomito na smjer pružanja drvnih vlaknaca (slika 34). Duljina prepiljivanja u istraživanju je iznosila 25 cm. Prepiljeni dio oblog drva pada u položaj u kojem je u ravnini s hidrauličkim cilindrom koji ga gura na nož te se tada vrši cijepanje (slika 35). Cjepanice se zatim pomoću transportera pomiču na mjesto gdje se vrši njihovo slaganje u palete (slika 36).





Slika 32. Hidraulički pokretana transportna traka



Slika 33. Klin za sprečavanje micanja prilikom prepiljivanja



Slika 34. Prepiljivanje komada energijskog drva



Slika 35. Cijepanje prepiljenog komada



Slika 36. Složene palete kratko cijepanog ogrjevnog drva



## 5. METODE PRIKUPLJANJA I OBRADE PODATAKA

### 5.1. Prikupljanje podataka

Istraživanje utjecaja pojedinih čimbenika (promjera oblog energijskog drva, vrste drva i sadržaja vode) na utrošak vremena pojedinih radnih zahvata pri mehaniziranoj izradi kratko rezanog i cijepanog ogrjevnog, odnosno na proizvodnost izrade procesorom Posch Spaltfix S-360 provedeno je u lipnju 2016. godine, na oblom energijskom drvu obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) i običnog graba (*Carpinus betulus* L.).

Snimanje utroška vremena obavljeno je tijekom jednoga radnog dana. Duljina cjepanica kratko rezanog i cijepanog ogrjevnog drva bile su 25 cm, dok je duljina oblog energijskog energijske drva iznosila 4 m, što nije u vezi s ograničenjima procesora već u skladu sa željenim ciljem istraživanja (ograničavanjem varijabilnosti utjecajnih čimbenika). Nekoliko dana prije samoga istraživanja svaki komad energijskog drva je označen sprejem za drvo, na način da su upisivani redni brojevi na svakom čelu (slika 37). Svakom komadu energijske oblovine promjerkom su izmjerena dva unakrsna promjera s korom na sredini duljine oblovine (2 m) s točnošću na puni cm, a njihova aritmetička sredina zaokružena na puni centimetar je upisivana u manual za evidenciju i praćenje komada energijske oblovine (slika 38). Rednom broju komada je pridružen odgovarajući izmjereni promjer radi kasnije analize snimke.



Slika 37. Način označavanja energijske oblovine

Dubrava Prirodovodna  
Tel.: ++385(0)42 739 770, fax: ++385(0)42 739 771, mobilni: ++385(0)91 231 231

preuzeo: Vrbnjak I.

EVIDENCIJA ULAZA TRUPACA U PROIZVODNJI U PILANI FRIŠIĆ

PREMIJERA TRUPACA GRAB U PROIZVODNJI NA PILANI FRIŠIĆ

BROJ TRUPCA	DULJ	PROM	MASA	BROJ TRUPCA	DULJ	PROM	MASA	BROJ TRUPCA	DULJ	PROM	MASA
1	4	20	75	4	21	18	75				
2	4	25	100	4	20	20	100				
3	4	18	75	4	20	20	100				
4	4	10	40	4	20	20	100				
5	4	12	48	4	20	20	100				
6	4	18	75	4	20	20	100				
7	4	20	80	4	20	20	100				
8	4	18	75	4	20	20	100				
9	4	20	80	4	20	20	100				
10	4	18	75	4	20	20	100				
11	4	20	80	4	20	20	100				
12	4	20	80	4	20	20	100				
13	4	20	80	4	20	20	100				
14	4	20	80	4	20	20	100				
15	4	20	80	4	20	20	100				
16	4	20	80	4	20	20	100				
17	4	20	80	4	20	20	100				
18	4	20	80	4	20	20	100				
19	4	20	80	4	20	20	100				
20	4	20	80	4	20	20	100				
21	4	20	80	4	20	20	100				
22	4	20	80	4	20	20	100				
23	4	20	80	4	20	20	100				
24	4	20	80	4	20	20	100				
25	4	20	80	4	20	20	100				
26	4	20	80	4	20	20	100				
27	4	20	80	4	20	20	100				
28	4	20	80	4	20	20	100				
29	4	20	80	4	20	20	100				
30	4	20	80	4	20	20	100				
31	4	20	80	4	20	20	100				
32	4	20	80	4	20	20	100				
33	4	20	80	4	20	20	100				
34	4	20	80	4	20	20	100				
35	4	20	80	4	20	20	100				
36	4	20	80	4	20	20	100				
37	4	20	80	4	20	20	100				
38	4	20	80	4	20	20	100				
39	4	20	80	4	20	20	100				
40	4	20	80	4	20	20	100				
41	4	20	80	4	20	20	100				
42	4	20	80	4	20	20	100				
43	4	20	80	4	20	20	100				
44	4	20	80	4	20	20	100				
45	4	20	80	4	20	20	100				
46	4	20	80	4	20	20	100				
47	4	20	80	4	20	20	100				
48	4	20	80	4	20	20	100				
49	4	20	80	4	20	20	100				
50	4	20	80	4	20	20	100				
UKUPNO	m3		0.00	UKUPNO	m3						

Slika 38. Manual za upis izmjerenih podataka

Ulaz komada u proizvodni proces je bio nasumičan iz razloga što je energijsko drvo mjereno i označavano na stovarištu pa je viličar zahvatio različite redne brojeve prilikom transporta na ulaznu rampu procesora. Radni dan prilikom istraživanja je počeo u 06:00 h sati i završio u 14:00 h, no snimanje je završilo oko 11:31 h. Radnicima je napomenuto da rade normalno kao i svaki drugi radni dan te da se ne obaziru na istraživanje, pa su sukladno tome i postupali, a samo snimanje nije ometalo proizvodnju. Snimanje utroška vremena prilikom istraživanja učinkovitosti proizvodnje kratko rezanog i cijepanog ogrjevnog drva je vršeno po principu studija vremena, na način da je kamera snimala radne zahvate i prekide koji su se odvijali prilikom rada procesora, te se kasnije vršila analiza snimaka i bilježenje vremena rada i prekida na računalu. Kamera je bila smještena u poziciju da snima ulazak energijskog drva na transportnu traku procesora kao i ostale radne zahvate i prekide (slika 39).

Tijekom snimanja od svakog prerađenog komada energijskog drveta, nasumičnim odabirom su izdvojene po 4 cjepanice (ukupno 436 komada) te je svakoj cjepanici utvrđena dužina u cm, promjer po dimenzijskoj šabloni u cm (slika 40) te tragovi truleži, ako postoje. Klasifikacija je nakon određivanja udjela vlage obavljena sukladno normi HRN EN14961-5.

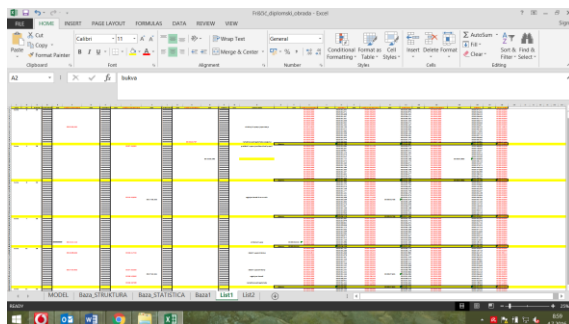
Podaci o vremenima su obrađeni i izračunati u programima 'Excel' (slika 41) i 'Statistica', a snimka je pregledavana u 'SolveigMM Video Splitter' video softveru (slika 42).



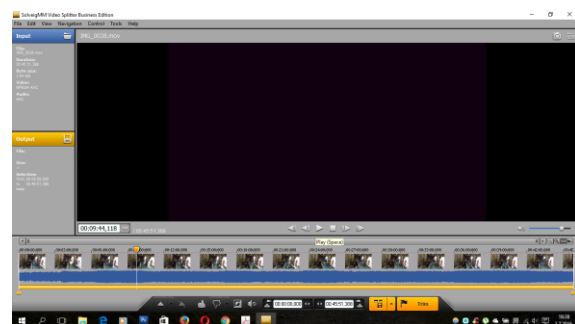
Slika 39. Položaj kamere tijekom snimanja



Slika 40. Šablona za izmjeru promjera cjepanice



Slika 41. Excel baza



Slika 42. Video software za obradu snimke

## 5.2. Laboratorijska analiza uzoraka kratko rezanog i cijepanog ogrjevnog drva

U Laboratoriju za šumsku biomasu Šumarskog fakulteta maseni je udio vode utvrđen sukladno normi ,sušenjem u sušioniku na 105 °C u trajanju od 24 h, na ukupno 40 odabranih reprezentativnih komada cijepanog drva (po 20 od svake vrste drva). Svaki analizirani komad kratko rezanog i cijepanog drva je dodatno iscijepan na manje komade, radi veće površine sušenja (slike 43 i 44). Sadržaj vlage na mokroj bazi u  $M_{ar}$  izražen kao maseni udio izračunat je po formuli:

$$M_{ar} = \frac{(m_2 - m_1) - (m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \times 100 \quad (1)$$

$m_1$  – masa u gramima prazne posude

$m_2$  – masa u gramima posude i uzorka prije sušenja

$m_3$  – masa u gramima posude i uzorka nakon sušenja



Slika 43. Utvrđivanje udjela vode metodom sušionika



Slika 44. Izgled uzoraka spremnih za sušenje

## 5.3. Analiza podataka studija rada i vremena i izrada modela za izračun proizvodnosti

Proučavanjem redoslijeda zahvata (pokreta) dobivamo uvid u postojeće stanje i uočavamo neophodnost njihovih promjena, skraćanja ili olakšanja izvođenja pojedinih zahvata i pokreta kao i eliminiranja svih nepotrebnih i neproduktivnih zahvata. Boljim rasporedom i redoslijedom radnih operacija postiže se povećanje produktivnosti rada, bolja humanizacija u radu kao i bolje iskorištenje postojećih resursa, skraćanje ukupne duljine rada, smanjenje broja zahvata te skraćanje vremena trajanja radnih operacija.

Mjerenje utroška vremena ili studija vremena je promatranje i mjerenje utroška vremena i jedinica izrade, pri čemu je radni proces podijeljen na manje jedinice. Na osnovu rezultata

studija vremena, određujemo utrošak vremena po ostvarenim jedinicama proizvoda, kao i za pojedine radove u radnom procesu. Ujedno saznajemo i strukturu vremena u radnom procesu.

Analiziranje utrošenog vremena potrebnog za rad i za prekide utvrđeno je pregledavanjem video snimke s točnošću zabilježbe vremena na stotinku sekunde (protočna metoda kronometrije uz naknadnu analizu snimaka).

Snimljeno vrijeme je razdijeljeno na slijedeća vremena:

- vrijeme potrebno za pomicanje komada oblog energijskog drva po utovarnoj rampi do pokretne trake,
- vrijeme potrebno za pomicanje trupca po hidraulički pokretanoj traci do mjesta prepiljivanja,
- vrijeme potrebno za prepiljivanje,
- vrijeme potrebno za cijepanje i
- vremena prekida

Dobivene podatke trebalo je urediti i oblikovati bazu koja će poslužiti za daljnju analizu. Svaki je snimljeni radni zahvat (i vrijeme prekida) evidentiran u Excel bazi podataka na razini komada oblog drva poznato srednjeg promjera (i standardne duljine  $4,0 \pm 0,1$  m) te vrste drva. Za svaki komad oblog energijskog drva izračunata je suma prethodno analiziranih uzastopnih radnih zahvata prethodno raščlanjenih na razinu jednog komada prepiljenog i iscijepanog drva duljine 25 cm.

Matematičko-statističkom analizom računalnim programom Excel utvrđeno je ukupno trajanje pojedinih radnih zahvata po vrsti drva, prosječne vrijednosti utrošaka vremena po komadu oblog energijskog drva, standardne devijacije te najveće i najmanje vrijednosti. Baza je podataka pročišćenja izbacivanjem ekstremnih vrijednosti (odstupanje veće od tri standardne devijacije od srednje vrijednosti). Statistička je obrada nastavljena u programskom paketu Statistica. Deskriptivnom statističkom analizom utvrđene su prosječne, najmanje i najveće vrijednosti utrošaka vremena pojedinih radnih zahvata po vrsti drva, a distribucija promjera komada oblog energijskog drva prikazana je u histogramskom obliku. Provedene su višestruke regresijske analize ovisnosti utrošaka vremena za pomicanje po rampi, pomicanje po traci, prepiljivanje i cijepanje o promjeru komada oblog energijskog drva i vrsti drva (koja je prikazana binarnom varijablom  $0 \vee 1$ ). Utvrđena je ovisnost utroška vremena za prepiljivanje o promjeru komada oblog drva i vrsti drva (grafički je prikaz načinjen odvojeno po vrsti drva) te ovisnost utroška vremena cijepanja o vrsti drva. Za radne zahvate pomicanje po rampi i pomicanje po traci (za koje nije utvrđena ovisnost niti o promjeru komada oblog drva ni o vrsti drva) proveden je t-test koji je potvrdio da statistički značajnih razlika nema.

Model za izračun proizvodnost izrađen je na temelju pripadajućih regresijskih jednadžbi varijabilnih vremena (za prepiljivanje i cijepanje) i prosječnih utrošaka ostalih vremena te očekivanog obujma proizvoda (na temelju dimenzija ulazne sirovine).

Vremena prekida nisu detaljno analizirana, jer zbog trajanja snimanja ne daju realan uvid u strukturu dodatnoga vremena. No, analizom prekida, prilikom obrade snimaka, uočeno je da se glavina evidentiranoga vremena odnosila na povremeni rad. Stoga su svi evidentirani prekidi priznati i u modelu za izračun proizvodnosti dodani efektivnom vremenu u obliku jedinstvenog faktora dodatnog vremena za obje vrste drva.

## 6. REZUTATI ISTRAŽIVANJA

### 6.1 Kakvoća kratko rezanog i cijepanog drva

U Laboratoriju za šumsku biomasu Šumarskog fakultetu Sveučilišta u Zagrebu utvrđen je tehnički maseni udio vode kod ukupno 40 reprezentativnih komada kratko rezanog i cijepanog ogrjevnog drva obične bukve i običnog graba.

Udio vode kod bukovog kratko cijepanog drva prosječno je iznosio  $39,20 \pm 3,26$  % (od minimalno 32,46 % udjela vode do maksimalno 45,03 % udjela vode).

Udio vode kod grabovog kratko cijepanog drva prosječno je iznosio  $33,81 \pm 2,85$  % (od minimalno 28,94 % udjela vode do maksimalno 40,29 % udjela vode).

Kod ukupno 200 nasumično odabranih kratko rezanih i cijepanih komada ogrjevnog drva bukve, izmjerena je prosječna dužina kratko cijepanih komada drva od  $25,25 \pm 0,61$  cm (minimalna izmjerena dužina cijepanice iznosila je 22 cm, a maksimalna 27 cm).

Prema izmjerenim promjerima, 44 komada (22 %) spada u razred D15+, 150 komada (75 %) spada u razred D15 i 6 komada (3 %) spada u razred D10.

Pet kratko cijepanih komada drva (2,5 %) je imalo tragove truleži, a 195 komada kratko cijepanog drva (97,5 %) je bilo bez tragova truleži. Kod svih je površina presjeka bila jednolična, te je svih 200 komada definirano kao cijepanica.

Kod ukupno 200 nasumično odabranih kratko rezanih i cijepanih komada ogrjevnog drva običnoga graba, izmjerena je prosječna dužina kratko cijepanih komada drva od  $25,30 \pm 0,50$  cm (minimalna izmjerena dužina cijepanice iznosila je 23,2 cm, a maksimalna 27,6 cm).

Prema izmjerenim promjerima, 46 komada (23 %) spada u razred D15+, 143 komada (71,5 %) spada u razred D15 i 11 komada (5,5 %) spada u razred D10.

Deset kratko cijepanih komada drva (5 %) su imala tragove truleži, a 190 komada kratko cijepanog drva (95 %) je bilo bez tragova truleži. Kod svih je površina presjeka bila jednolična, te je svih 200 komada definirano kao cijepanica.

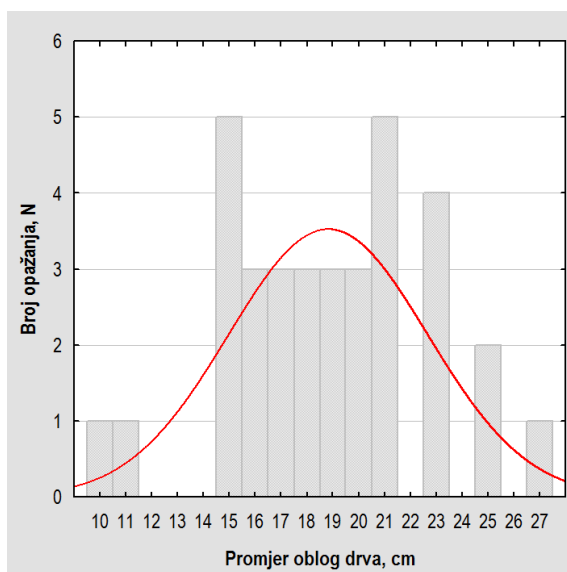
S obzirom na navedene rezultate, a u cilju postizanja ujednačenih razreda kakvoće sukladno HRN EN 14961-5 nužno je proizvedeno ogrjevno drvo prilikom slaganja u palete razvrstati u jednolične razrede dimenzija (85 % količine mora pripadati jednom razredu promjera, a odstupanje duljine smije biti  $\pm 2$  cm uz 15 % količine u duljinama kraćim od graničnih) te ovisno o željenom razredu ukloniti komade s tragovima truleži. U slučaju većih narudžbi ujednačene dimenzije promjera, a s obzirom na ograničenu zalihu sirovine, pojedine komade je moguće dodatno iscijepati prije slaganja (uz dodatni utrošak vremena i povećanje jediničnog troška). S obzirom na navedeno na kraju linije procesora, a prije slaganja u palete instalirana su dva vertikalna hidraulična cijepača.

## 6.2 Utjecajni čimbenici i model za izračun proizvodnosti

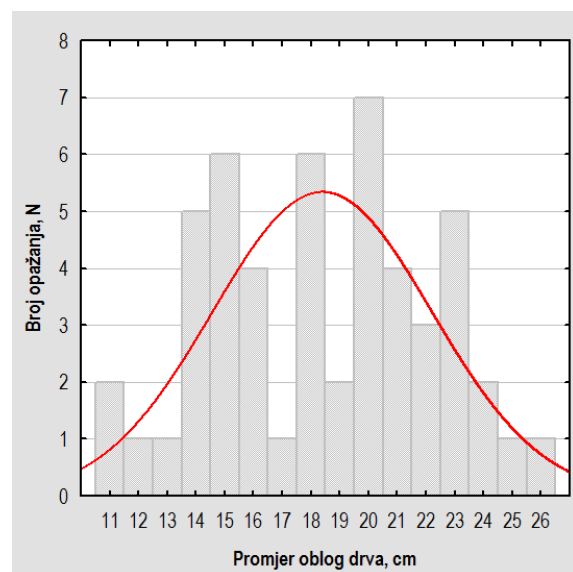
Tijekom ukupno snimljenih 99,55 min prerađeno je 37 komada oblog energijskog drva obične bukve (prosječnog promjera  $19,4 \pm 4,2$  cm) ukupnog obujma  $4,547 \text{ m}^3$ , što čini ostvarenu proizvodnost od  $2,74 \text{ m}^3/\text{h}$ . U strukturi ukupno snimljenih vremena 3,9 % utrošeno je na pomicanje po utovarnoj rampi, 15,1 % na pomicanje po transportnoj traci, 22,6 % na prerezivanje, 32,2 % na cijepanje i 26,1 % na prekide rada. Prilikom izrade kratko rezanog i cijepanog ogrjevnog drva obične bukve zabilježeno je ukupno 85 prekida od čega najveći dio otpada na namještanje trupaca na pokretnoj traci kako bi bilo moguće pomicanje i prepiljivanje istog te namještanje zadnjeg prepiljenog komada oblog energijskog drva kako bi ga zahvatio klin cjepača i kako bi se omogućilo prepiljivanje na željenu duljinu.

Tijekom ukupno snimljenih 132,64 min prerađen je 51 komad oblog energijskog drva običnog graba (prosječnog promjera  $18,4 \pm 3,8$  cm) ukupnog obujma  $5,645 \text{ m}^3$ , što čini ostvarenu proizvodnost od  $2,55 \text{ m}^3/\text{h}$ . U strukturi ukupno snimljenih vremena 3,5 % utrošeno je na pomicanje po utovarnoj rampi, 15,2 % na pomicanje po transportnoj traci, 15,3 % na prerezivanje, 39,5 % na cijepanje i 26,5 % na prekide rada. Prilikom izrade kratko rezanog i cijepanog ogrjevnog drva običnog graba, zabilježeno je ukupno 102 prekida od čega najveći dio otpada na iste prekide/povremene radove kao i kod prerade oblog energijskog drva bukve.

Distribucija promjera prerađenih komada oblog energijskog drva obične bukve i običnog graba (nakon uklanjanja ekstremnih vrijednosti) prikazana je na slikama 45 i 46. Vidljiva je približno normalna distribucija uzorka.



Slika 45. Distribucija promjera oblog energijskog drva obične bukve



Slika 46. Distribucija promjera oblog energijskog drva običnog graba



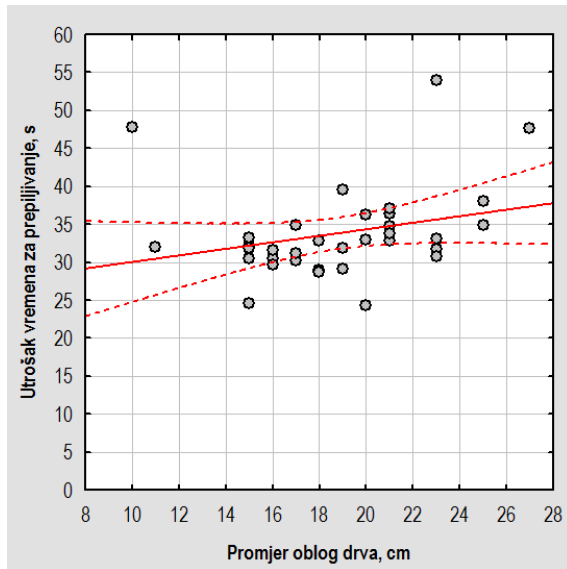
Provedenim višestrukim regresijskim analizama, očekivano, nije utvrđena ovisnost utroška vremena za pomicanje po utovarnoj rampi niti o promjeru ( $p = 0,24298$ ) niti o vrsti oblog energijskog drva ( $p = 0,66950$ ) kao ni utroška vremena za pomicanje po transportnoj traci o istim nezavisnim varijablama ( $p = 0,67901$ ;  $p = 0,63283$ ). Razlozi vjerojatno leže u logičnoj pretpostavci većeg utjecaja moguće zakrivljenosti komada i pojavnosti kvrga od samog promjera komada, ali i u necikličkom pojavljivanju i evidentiranju utroška vremena za pomicanje po utovarnoj rampi, odnosno u evidentiranju zastoja pri radnom zahvatu pomicanje po transportnoj traci u vremena prekida. Pomicanje po transportnoj traci inače logično ovisi prvenstveno o duljini oblog energijskog drva, utjecajnom čimbeniku koji je postavkama pokusa ograničen na  $4,0 \pm 0,1$  m.

Rezultati t-testa potvrđuju nepostojanje statistički značajne razlike između utroška vremena za pomicanje po utovarnoj rampi i pomicanje po transportnoj traci s obzirom na vrstu oblog energijskog drva (tablica 3). Stoga su u modelu za izračun proizvodnosti korištene prosječne vrijednosti zajedničkog skupa podataka; za pomicanje po utovarnoj rampi 5,8 s/kom, a za pomicanje po transportnoj traci 23,8 s/kom.

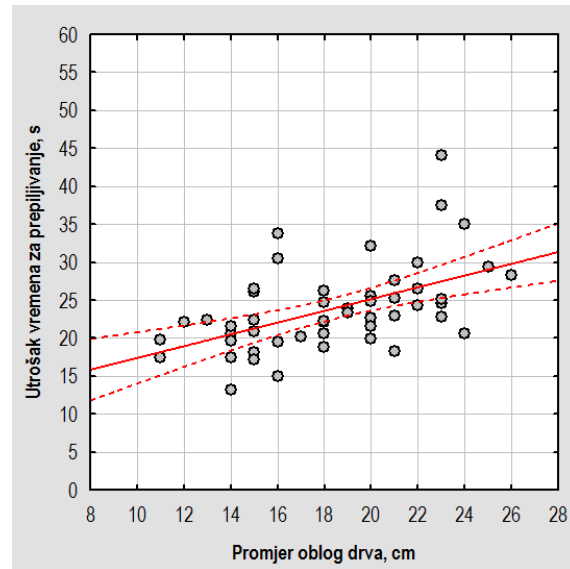
Tablica 3. Rezultati t- testa

Radni zahvat	Prosječna vrijednost		t	df	p	Uzorak, N		Standardna devijacija		F-ratio Variances	P Variances
	Bukva	Grab				Bukva	Grab	Bukva	Grab		
Pomicanje po rampi, s	6,172	5,521	0,4936	83	0,6229	34	51	6,0385	5,9066	1,0452	0,8726
Pomicanje po traci, s	24,028	23,645	0,4594	83	0,6472	34	51	3,8973	3,6813	1,1208	0,7036

Ovisnost utroška vremena za prepiljivanje o promjeru komada oblog drva prikazana je grafički na slici 47 za oblo energijsko drvo obične bukve, odnosno na slici 48 za oblo energijsko drvo običnog graba. Rezultati višestruke regresijske analize statistički potvrđuju evidentnu ovisnost utroška vremena o promjeru, ali i o vrsti oblog energijskog drva (tablica 4), a jednadžbom izjednačenja objašnjeno je 51,61% varijabilnosti utroška vremena.



Slika 47. Ovisnost utroška vremena za prepiljivanje o promjeru oblog energijskog drva obične bukve



Slika 48. Ovisnost utroška vremena za prepiljivanje o promjeru oblog energijskog drva običnog graba

Tablica 4. Rezultati višestruke regresijske analize ovisnosti utroška vremena za prerezivanje o promjeru i vrsti oblog energijskog drva

Varijabla	$\beta$	Standardna pogreška $\beta$	B	Standardna pogreška B	t(82)	p-razina
Odsječak na osi y			21,83110	3,030620	7,20351	<0,000001
Promjer oblog energijskog drva ( $d_s$ ), cm	0,319095	0,076940	0,63640	0,153449	4,14730	0,000082
Vrsta drva (VD) (0 – bukva √ 1 – grab)	-0,626073	0,076940	-9,65167	1,186128	-8,13712	<0,000001

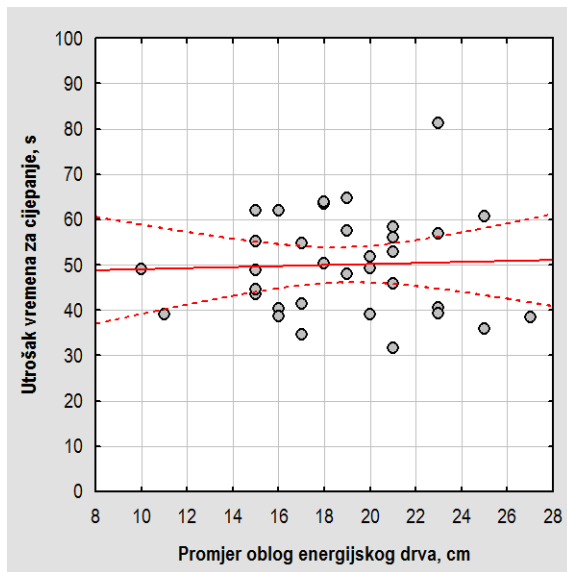
N = 85  
 $R = 0,7184$ ;  $R^2 = 0,5161$ ; Prilagođeni  $R^2 = 0,5043$ ;  
 $F(2,82) = 43,726$ ;  $p < 0,0001$ ; Standardna pogreška procjene: 5,3490

Evidentna neovisnost utroška vremena za cijepanje o promjeru komada oblog drva, prikazana grafički na slici 49 za oblo energijsko drvo obične bukve, odnosno na slici 50 za oblo energijsko drvo običnog graba, potvrđena je i preliminarnom višestrukim regresijskom analizom ( $p = 0,5464$ ) koja pak ukazuje na signifikantan utjecaj vrste drva ( $p = 0,00007$ ). Izostavljanjem nesignifikantnog člana jednadžbe (promjera oblog energijskog drva), utjecaj se vrste drva, za praktičnu primjenu u modelu za izračuna proizvodnosti može prikazati jednadžbom 2:

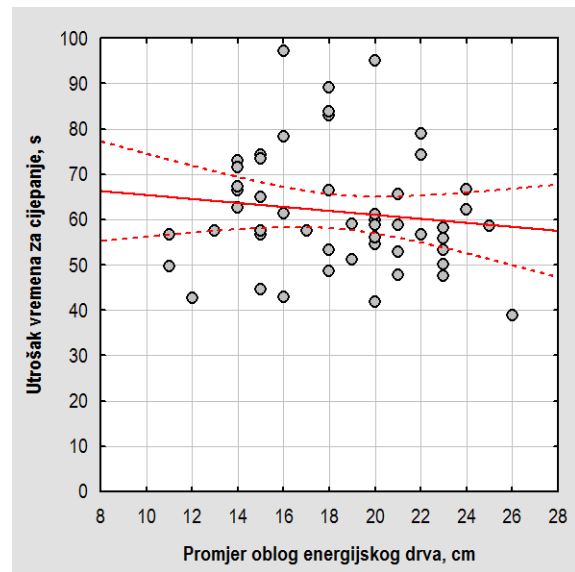
$$t_c = 50,013 + 11,6704 \times VD \text{ [s/kom]} \quad (2)$$

$$(F(1,83)=18,024; p < 0,00006; Standardna pogreška procjene: 12,416)$$

gdje je  $t_c$  utrošak vremena za cijepanje, a  $VD$  binomna varijabla odrednica vrste drva (0 – bukva  $\vee$  1 – grab).



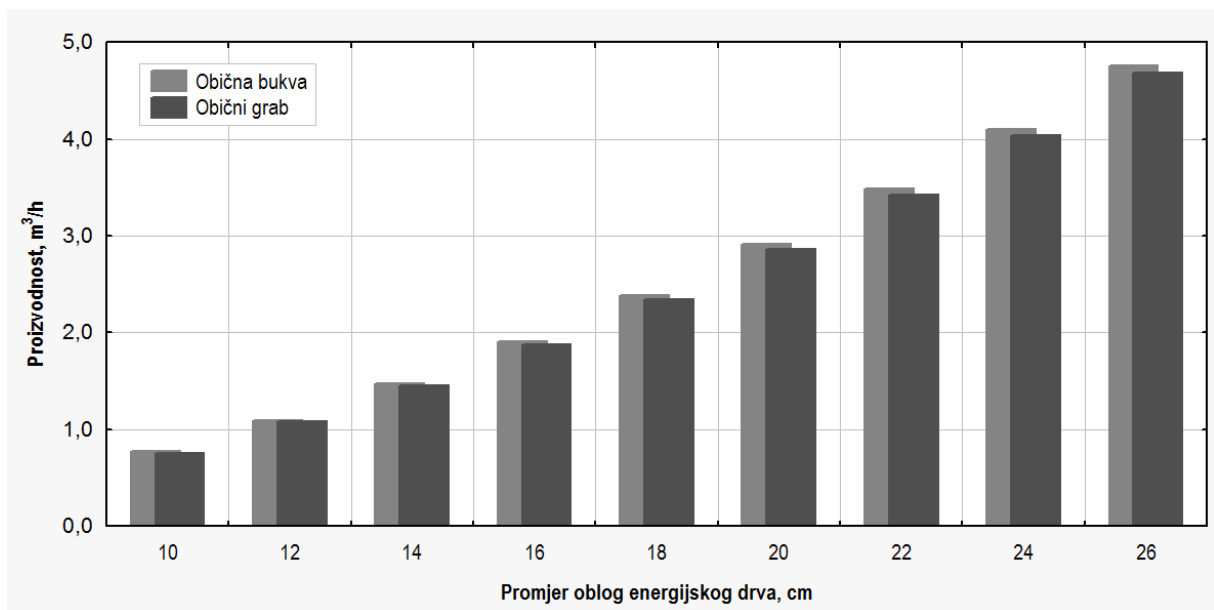
Slika 49. Ovisnost utroška vremena za cijepanje o promjeru oblog energijskog drva obične bukve



Slika 50. Ovisnost utroška vremena za cijepanje o promjeru oblog energijskog drva običnog graba

Model za izračun proizvodnosti (3) konstruiran je na temelju prosječnih vrijednosti utroška vremena za pomicanje po utovarnoj rampi i transportnoj traci te regresijskih jednadžbi za izračun utroška vremena za prerezivanje u ovisnosti o promjeru i vrsti oblog energijskog drva i izračun utroška vremena za cijepanje u ovisnosti o vrsti energijskog drva. U model je uvršten i faktor dodatnog vremena (koji je uključivao sve evidentirane prekide rada cikličkog rada/povremeni rad) u iznosu 1,36. Proizvedena količina kratko rezanog i cijepanog drva izračunata je Huberovom formulom na temelju duljine oblog energijskog drva od 4,0 m (sukladno postavkama pokusa) i promjerima oblog energijskog drva u rasponu uzorka (zanemarujući gubitke pri prerezivanju). Proizvodnost je iskazana u metrima kubnim po radnom satu (uključujući i prekide).

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



Slika 51. Ovisnost proizvodnosti izrade kratko rezanog i cijepanog drva procesorom Posch Spaltfix S-360 o promjeru oblog energijskog drva

Modelom izračunata proizvodnost istraživanog procesora Posch Spaltfix S-360 kreće se od 0,77 m<sup>3</sup>/h za duljinu komada oblog energijskog drva obične bukve 4,0 m i promjer 10 cm do 4,76 m<sup>3</sup>/h za promjer oblog energijskog drva obične bukve 26 cm. Pri izrade kratko rezanog i cijepanog ogrjevnog drva običnog graba proizvodnost je prosječno manja za 1,8 %, odnosno za iste, prethodno navedene dimenzije, kreće se u rasponu od 0,76 m<sup>3</sup>/h do 4,68 m<sup>3</sup>/h. Temeljem rezultata proizvodnoga modela može se zaključiti da promjer oblog energijskog drva pozitivno utječe na proizvodnost istraživanog procesora sukladno zakonu obujma komada (Speidel 1952).

Rezultati ostvarenih i modelom predviđenih proizvodnosti istraživanoga procesora Posch Spaltfix S-360 usporedivih su iznosa sa proizvodnošću procesora Binderberger SSP 450 E (Vusić i dr. 2015).

## 7. ZAKLJUČAK

- Istraživanjem je utvrđeno da promjer oblog energijskog drva pozitivno utječe na proizvodnost istraživanih procesora Posch Spaltfix S-360 sukladno zakonu obujma komada.
- Detaljnom analizom utroška vremena radnih zahvata utvrđena je da ne postoji statistički značajna razlika pri utrošku vremena za pomicanje po utovarnoj rampi i pomicanje po transportnoj traci s obzirom na vrstu drva. Značajne razlike nisu utvrđene ni u postotnim iznosima vremena prekida/dodatnih radova.
- Utvrđene su statistički značajne razlike pri utrošku vremena za prerezivanje (9,65 sekundi manji utrošak vremena pri preradi komada oblog energijskog drva običnog graba) i pri utrošku vremena za cijepanje (11,67 sekundi manji utrošak vremena pri preradi komada oblog energijskog drva obične bukve).
- Prosječno je kratko rezano i cijepano ogrjevno drvo običnog graba sadržavalo 5,39 % manje vode (33,81 %) nego drvo obične bukve (39,20 %).
- Razlike u utrošku vremena cijepanja moguće je, osim razlikom u ostalim fizičkim značajkama drva tumačiti i različitim udjelom vode istraživanih vrsta oblog energijskog drva. Rezultati ukazuju na nužnost još detaljnijeg ograničenja utjecajnih čimbenika prilikom planiranja pokusa.
- S obzirom na rezultate kakvoće kratko rezanog i cijepanog drva, a u cilju postizanja ujednačenih razreda kakvoće sukladno HRN EN 14961-5 nužno je proizvedeno ogrjevno drvo prilikom slaganja u palete razvrstati u jednolične razrede dimenzija ili obaviti dodatno cijepanje. Ujednačenje dimenzija može se postići i sortiranjem ulazne sirovine. Značajno povećanje kakvoće, a time i cijene istraživanih ogrjevnih drva moguće je postići optimiziranjem prirodnog prosušivanja sirovine ili proizvoda s ciljem dostizanja 25 % i manje udjela vode. No, i sortiranje ulazne sirovine i prirodno prosušivanje zahtijevaju jednoličnu i konstantnu dobavu dostatne količine sirovine.

## 8. LITERATURA

1. Bašić Palković, P., 2002: Šumski cjepači – jedna metoda pridobivanja energijskog drva. Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–70.
2. Bedžula, D., Slabak, M., 1974: Razvoj mehanizacije šumskih radova na području istočne Slavonije, stanje danas i perspektive. Zbornik o stotoj obljetnici šumarstva jugoistočne Slavonije, JAZU – Centar za znanstveni rad Vinkovci, Posebno izdanje, knjiga 1: 185–204.
3. BeniĆ, R., 1987: Upotreba drva. Šumarska enciklopedija, (ur.) Z. Potočić, JLZ, Zagreb, 546–547.
4. Domac, J., Benković, Z., Šegon, V., Ištok, I., 2011: Kritični čimbenici u razvoju domaćeg tržišta peleta. Šumarski list 135(5-6): 281–289.
5. Energija u Hrvatskoj 2013., Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva (<http://www.mingo.hr>).
6. Feretić, D., 2006: Neki temeljni problemi proizvodnje električne energije u Hrvatskoj u kratkoročnom i srednjoročnom razdoblju, Energija 55(1): 36–71.
7. Francescato, V., Antonini, E., Zuccoli Bergomi, L., 2008: Priručnik o gorivima iz drvne biomase. Regionalna energetska agencija Sjeverozapadne Hrvatske, (ur.) V. Šegon, Zagreb, Hrvatska, 1–84.
8. Horvat, I., 1987: Ogrjevna vrijednost (kalorijska vrijednost). Šumarska enciklopedija, (ur.) Z. Potočić, JLZ, Zagreb, 440–441.
9. HRN EN ISO 16559:2014 Čvrsta biogoriva – Nazivlje, definicije i opisi
10. HRN EN ISO 17225-1:2014 Čvrsta biogoriva – Specifikacije goriva i razredi – 1. dio: Opći zahtjevi.
11. HRN EN 14961-5:2011 Solidbiofuels – Fuel specifications and classes – Part 5: Firewood for non-industrial use. Hrvatski zavod za norme, Zagreb, 1–12
12. Janković, B., 1987: Ogrjevno drvo. Šumarska enciklopedija, (ur.) Z. Potočić, JLZ, Zagreb, 542 – 543.
13. JUS D.B5.023: 1984 Proizvodi eksploatacije šuma. Drvo za ogrev i suhu destilaciju.
14. Kärhä, K., 2002: Towards better quality chopped firewood. Wood energy 7: 22-30.
15. Kärhä, K., A. Jouhiano, 2009: Producing chopped firewood with firewood processors. Biomass and bioenergy, 33, 1300 – 1309.
16. Krhen, P., 2012: Energetsko iskorištavanje šumske biomase u Hrvatskoj. Diplomski rad, Rudarsko – geološko – naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1 – 53.

17. Kranjec, J., Poršinsky, T., 2011: Povijest razvoja motorne pile lančanice. Nova mehanizacija šumarstva 32(1): 23–37.
18. Krpan, A. P. B., Tomašić, Ž., Zečić, Ž., Vuletić, D., 2015: Bioproizvodnost amorfe (*Amorpha fruticosa* L.) u jednogodišnjoj, dvogodišnjoj i četverogodišnjoj ophodnji. Šumarski list 143(3-4): 123–135.
19. Kuric, D., 2014.: Realizacija projekata i investicija u energetska postrojenja na drvenu biomasu. Mogućnost primjene obnovljivih izvora energije. Zagreb, 20. veljače 2014.
20. Lindroos, O., 2008: The effects of increased mechanization on time consumption in small – scale firewood processing. *Silva Fennica* 42(5): 791–805.
21. Lindroos, O., E.W. Aspm, G. Lindstar, G. Neely, 2008: Accidents in family's firewood production. *Accident analysis prevention*, 40(3), 877 – 886.
22. Loibnegger, T., 2011: Smjernice za primjenu normi za goriva iz drvene biomase. Regionalna energetska agencija Sjeverozapadne Hrvatske, (ur.) V. Šegon, Zagreb, Hrvatska, 1–32.
23. Manzone, M., Spinelli, R., 2014: Efficiency of small – scale firewood processing operations in Southern Europe. *Fuel Processing Technology* 122: 58–63.
24. Matić, S., 2011: Međunarodna godina šuma u svjetlu 50 godišnje uske suradnje hrvatske šumarske znanosti i struke. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 32(1): 1–6.
25. Obernberger, I., Thek, G., 2010: The pellet handbook, The production and thermal utilisation of biomass pellets, Earthscan, 1–600.
26. Pandur, Z., Šušnjar, M., Zorić, M., Nevečerel, H., Horvat, D., 2015: Energy Return on Investment (EROI) of Different Wood Products. *Precious Forests - Precious Earth*, Zlatić, Miodrag (ur.). InTech, Rijeka, 165–184.
27. Sawin, J. L., Sverrisson, F. Rickerson, W., 2015: Renewable energy policy network for the 21<sup>st</sup> century. REN21 Secretariat, Paris, France, 1–251.
28. Smetko, M., 2015: Učinkovitost izrade kratko rezanog i cijepanog ogrjevnog drva. Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1 – 47.
29. Speidel, G. 1952: Das Stückmassesgesetz und seine Bedeutung für den internationalen Leistungsvergleich bei der Forstarbeit. Dissertation. Universität Hamburg, 1–66.
30. Šafran, B., 2015: Ovisnost mehaničkih svojstava peleta o ulaznim veličinama drvene sirovine. Doktorski rad. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–144.
31. Trohar, V., 1981: Dvadeset godina korištenja motornih pila u šumarstvu naše Republike. *Mehanizacija šumarstva* 6(7–8): 217—227.

32. Vasiljević, S., 1987: Bukovina. Šumarska enciklopedija, (ur.) Z. Potočić, JLZ, Zagreb, p. 220.
33. Vusić, D., Pandur, Z., 2010: Pregled europskih normi za drvno iverje, Nova mehanizacija šumarstva 31(1): 75–82.
34. Vusić, D., Zečić, Ž., Paladinić, E., 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.
35. Vusić, D., Đuka, A., 2015: Značajnost šumske biomase kao obnovljivog izvora energije – utjecaj na sustave pridobivanja drva u Hrvatskoj. CROJFE 2015. – Sadašnje stanje i budući izazovi. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–3.
36. Vusić, D., Zečić, Ž., Smetko, M., 2015: Učinkovitost mehanizirane izrade kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva, Nova mehanizacija šumarstva 36(1): 53–62.
37. Zečić, Ž., Šušnjar, M., Vusić, D., 2012: Potencijali i tehnologije pridobivanja šumske biomase u Hrvatskoj. EGE: energetika, gospodarstvo, ekologija, etika 20: 16 – 17.
38. <http://www.dzs.hr> (PC-Axis baze podataka: Robna razmjena s inozemstvom – Izvoz/uvoz po proizvodima kombinirane nomenklature (KN 8) i zemljama namjene/podrijetla za 2014 godinu)