

# Proizvodnja i uporaba čvrstih biogoriva - Studija slučaja Požega

---

Kljajić, Eva

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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:108:290067>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-08**



Repository / Repozitorij:

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



**ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU**

**ŠUMARSKI ODSJEK**

**SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ**

**ŠUMARSKE TEHNIKE, TEHNOLOGIJE I MENADŽMENT U ŠUMARSTVU**

**EVA KLJAJIĆ**

**PROIZVODNJA I UPORABA ČVRSTIH BIOGORIVA –  
STUDIJA SLUČAJA SPIN VALIS, POŽEGA**

**DIPLOMSKI RAD**

**ZAGREB, 2017.**

# ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

## ŠUMARSKI ODSJEK

### DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij: Tehnike, tehnologije i menadžment u šumarstvu

Predmet: Šumska biomasa za energiju

Ispitno povjerenstvo: 1. Prof. dr. sc. Željko Zečić

2. Izv. prof. dr. sc. Marijan Šušnjar

3. Dr. sc. Dinko Vusić

Student: Eva Kljajić

JMBAG: 0068210285

Broj indeksa: 579/14

Datum odobrenja teme: 11. 04. 2016.

Datum predaje rada: 15. 09. 2017.

Datum obrane rada: 22. 09. 2017

ZAGREB, rujan, 2017.

## Dokumentacijska kartica

Naslov	Proizvodnja i uporaba čvrstih biogoriva – Studija slučaja Spin Valis Požega
Title	<i>Production and use of solid biofuels – Case study Spin Valis Pozega</i>
Autor	Eva Kljajić
Adresa autora	Požeška 8a, Brestovac
Rad izrađen	Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	Prof. dr. sc. Željko Zečić
Izradu rada pomogao	Dr. sc. Dinko Vusić
Godina objave	2017
Obujam	43 stranice; 19 slika; 16 tablica, 42 navoda literature
Ključne riječi	drvena sječka, briketi, , analiza
Keywords	<i>wood chips, wood briquettes , analysis</i>
Sažetak	<p>U radu je prezentirana problematika biomase za energiju s posebnim naglaskom na proizvodnju i korištenje iste te rezultate uzoraka u postrojenju Spin Valis d.o.o Požega.</p> <p>Detaljno su opisana analize drvene sječke, briketa te višemetarskog drva kao i način proizvodnje istih te neke glavne značajke. Opisana je oprema koja je korištena prilikom terenskog rada , ali i laboratorijskih analiza prikupljenih uzoraka. Analizom su dobiveni rezultati: udjela vode, pepela, granulometrijski sastav, neto kalorična vrijednost i naspina gustoća. Na temelju dobivenih podataka predloženi su mogući pravci unaprjeđenja i poboljšanja proizvoda.</p> <p>Prirodnim prosušivanjem sirovine moguće je postići veću energijsku vrijednost, ali i smanjenje masenog udjela vode. Pravilnim odabirom stroja ako i njegovim redovnim odražavanjem omogućuje je utjecati na granulometrijski sastav drvene sječke.</p> <p>Istraživani briketi su svrstani u razred A1 kvalitete, oblika 7, velike mehaničke izdržljivosti, u suštini rezultati pokazuju kako se radi o briketima velike kvalitete.</p>

# Sadržaj

1. UVOD .....	1
2. PROBLEMATIKA.....	3
2.1. Pridobivanje šumske biomase za energiju .....	8
2.2 Slučaj tvrtke Spin Valis Požega.....	9
3. MATERIJALI I METODA ISTRAŽIVANJA.....	11
3.1 Materijal istraživanja.....	11
3.1.1 Drvna sječka.....	11
3.1.1.1 Proizvodnja drvne sječke.....	13
3.1.2 Briketi.....	14
3.1.2.1 Proizvodnja briketa.....	16
3.1.3 Kora nekih gospodarskih vrsta drveća.....	17
3.2 Metoda istraživanja.....	20
3.2.1 Terenski rad .....	20
3.2.2 Laboratorijski rad .....	21
3.2.2.1 Oprema korištena za laboratorijsku analizu .....	21
4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA.....	24
4.1 Određivanje vlage kolutova višemetarskog drva .....	24
4.2 Briketi.....	25
4.3 Drvna sječka.....	26
4.3.1 Vlaga usitnjene drvne sječke na svježoj osnovi pri analizi pepela.....	28
4.3.2 Maseni udio vode u drvnoj sječki.....	29
4.3.3 Granulometrijski sastav drvne sječke.....	31
4.3.4 Maseni udio pepela drvne sječke.. ..	33
4.3.5 Nasipna gustoća drvne sječke.....	33
4.3.6 Kalorijska vrijednost i energijska gustoća drvne sječke.....	34
4.3.7 Osnovne značajke drvne sječke iz primarne prerade, kore hrasta i kore bukve.....	36
5.RASPRAVA.....	38
6. ZAKLJUČAK .....	39

## Popis slika:

Slika 1. Prikaz potrošnje obnovljivih i neobnovljivih izvora energije u EU 2015.....	2
Slika 2. Porijeklo i oblici čvrstih biogoriva.....	4
Slika 3. Potrošnja obnovljivih izvora energije od 2004-2015.(Izvor: <a href="http://eur-lex.europa.eu">http://eur-lex.europa.eu</a> ).....	8
Slika 4. Ulaz u tvrtku Spin Valis sa kolnom vagom.....	9
Slika 5. Hrpa kore hrasta nakon koranja trupaca.....	10
Slika 6. Drvna sječka u skladištu.....	12
Slika 7. Sustav pridobivanja i korištenja drvene biomase.....	13
Slika 8. Prikaz proizvodnog sustava pridobivanja drvene sječke ( <a href="http://eur-lex.europa.eu">Izvor:eur-lex.europa.eu</a> ) .....	14
Slika 9. Briketi firme Spin Valis Internacional Požega (SVI) .....	15
Slika 10. Pogon za proizvodnju briketa u firmi Spin Valis Internacional Požega 2016. ....	16
Slika 11. Mjerenje dimenzija obloga drva.....	18
Slika 12. Uzorci kolutova i drvene sječke u sušioniku.....	24
Slika 13. Obilježba uzoraka kolutova hrasta.....	24
Slika 14. Prosušivanje drvene sječke .....	27
Slika 15. Priprema uzoraka za sušenje.....	27
Slika 16. Priprema uzoraka nakon usitnjavanja.....	28
Slika 17. Priprema uzoraka za analizu pepela.....	28
Slika 18. Sušenje uzoraka u sušioniku.....	30
Slika 19. Oscilator za utvrđivanje granulometrijskog sastava drvene sječke.....	32

## Popis tablica:

Tablica 1. Energetska vrijednost goriva iz biomase (Izvor: <a href="http://www.oie.mingorp.hr">www.oie.mingorp.hr</a> ) .....	5
Tablica 2. Udio obnovljivih izvora energije u zemljama Europske unije,2013-2015 ( <a href="http://eur-lex.europa.eu">eur-lex.europa.eu</a> ) .....	7
Tablica 3. Tablica odbitka kore pri mjerenju tehničke oblovine.....	19
Tablica 4. Dimenzije, obujam i nasipna gustoća briketa .....	25
Tablica 5. Maseni udio vlage u briketima.....	26
Tablica 6. Maseni udio pepela u briketima.....	26
Tablica 7. Maseni udio vode uzoraka drvne sječke iz višemetarskog drva prema EN ISO 17225-4.....	31
Tablica 8. Klasifikacija drvne sječke iz višemetarskog drva prema EN ISO 17225-4 prema vlazi.....	31
Tablica 9. Klasifikacija drvne sječke prema granulometrijskom sastav za prema EN ISO 17225-4.....	32
Tablica 10. Maseni udio pepela u uzorcima drvne sječke .....	33
Tablica 11. Klasifikacija drvne sječke prema masenom udjelu pepela u uzorcima EN ISO 17225-4.....	34
Tablica 12. Nasipna gustoća drvne sječke prema EN ISO 17225-4.....	34
Tablica 13. Sumarne značajke ispitivane drvne sječke .....	35
Tablica 14. Neto kalorična vrijednost za drvnu sječku prema EN ISO 17225-4.....	36
Tablica 15. Maseni udio vlage drvne sječke iz primarne prerade, kore hrasta i kore bukve.....	36
Tablica 16. Maseni udio pepela drvne sječke iz primarne prerade, kore hrasta i kore bukve.....	37

## 1. UVOD

Republika Hrvatska gospodari s 2 688 687 ha šuma i šumskog zemljišta na kojima se nalazi 397 963 000 m<sup>3</sup> i prosječnim godišnjim prirastom 10 526 000 m<sup>3</sup>. Svake godine se posiječe bruto volumen (godišnji etat) od oko 6 564 000 m<sup>3</sup> u zahvatima obnove šuma.

Republika Hrvatska se nalazi pri samom vrhu Europe po šumovitosti površine, odmah ispod skandinavskih zemalja i Austrije, zemalja koje su poznate po šumama u cijeloj Europi i šire. Da bi održala svoju poziciju te konkurentnost prema drugim zemljama u okruženju, Hrvatska mora racionalno iskoristiti elemente i potencijale te i dalje provoditi održivo gospodarenje.

Razlika između bruto i neto vrijednosti volumena krupnog drva stabla iz kojeg se izrađuju drvni proizvodi odnosno ostvarene količine proizvedenih sortimenta godišnje, drvni je materijal koji dolazi kupcima kao nadmjera i kora ili kao otpad koji ostaje u šumi, a može poslužiti u proizvodnji energije.

Današnje vrijeme poskupljenja energenata i energije u svijetu, kao i manjkavosti dostupnosti istih, potrebno se okretati dostupnim i raspoloživim izvorima energije u svrhu očuvanja okoliša, a ujedno i smanjenju ovisnosti o uvoznoj energiji i energentima.

Energetska proizvodnja Hrvatske uvelike ovisi o fosilnim gorivima, najviše o nafti i prirodnom plinu, čije su rezerve ograničene, a potrošnja za istima je sve veća i veća, osobito u zemljama koje su u razvoju.

Prilikom pridobivanja energije, teoretski, može poslužiti sva biomasa dobivena uzgojnim zahvatima u svim degradacijskim stadijima šuma, kao i biomasa dobivena zahvatima njege čišćenjem u prvim dobnim razredima regularnih šuma (Jurič, 2016).

Ta se biomasa da sada nije prikazivala u okvirima godišnjih eteta visokih regularnih šuma, srednjih, niskih i prebornih, jer se po dimenzijama stabala nalazi ispod taksacijske granice od 10 cm prsnog promjera, za koju tržište do nedavno nije pokazivalo interes. Iskorištavanjem drvne sirovine u samoj šumi ostane oko 30 % od ukupnog volumena stabla, u pilani i obradi idućih 40 % (Anon 2006).

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 19,10 % u svjetskoj potrošnji energije, a udio tradicionalne biomase u ukupnoj potrošnji energije u svijetu je otprilike oko 9 %.

Republika je Hrvatska postavila cilj da u 2020. godini upotrebljava oko 26 PJ energije iz biomase s tim da se dio te biomase upotrebljava u elektranama na biomasu ukupne snage od oko 85 MW u 2020. godini (NN 130/2009). Dakle, predviđa se pretvorba raspoložive biomase u električnu i/ili toplinsku energiju, ali i prerada biomase u komercijalno pogodnije oblike energije (drvne pelete, drvne brikete, drvenu sječku i drvni ugljen) (Vusić, 2013).



Slika 1. Prikaz potrošnje obnovljivih i neobnovljivih izvora energije u EU 2015.

Hrvatska je ulaskom u Europsku Uniju, potpisala je Direktivu o obnovljivoj energiji, trajan dokument kojem je u cilju smanjenje stakleničkih plinova kao i zamjena neobnovljivih izvora energije obnovljivim. Pokazalo je da je 20 % ukupnog udjela energije iz obnovljivih izvora i 10 % ukupne energije iz obnovljivih izvora u prijevozu odgovarajući i ostvariv cilj te da okvir koji uključuje obvezne ciljeve treba poslovnoj zajednici osigurati dugoročnu stabilnost potrebnu za racionalna održiva ulaganja u sektor obnovljive energije koja mogu smanjiti ovisnost o uvoznim fosilnim gorivima i potaknuti primjenu novih energetske tehnologije. Ti ciljevi povezani su s 20 %-tnim poboljšanjem energetske učinkovitosti do 2020., kako je to navedeno u Komunikaciji

Komisije od 19. listopada 2006. naslovljenom „Akcijski plan za energetska učinkovitost: ostvarenje mogućnosti” koji je potvrdilo Europsko vijeće u ožujku 2007. i Europski parlament u svojoj rezoluciji od 31. siječnja 2008. o tom planu (<http://eur-lex.europa.eu>).

Šumska biomasa ima veliku ulogu u skupini obnovljivih izvora energije, uz vjetar i vodu. Tijekom prve naftne krize, sedamdesetih godina dvadesetog stoljeća, razvijene zemlje se okreću traženju alternativa te trajno obnovljivih izvora energije. Obzirom na njihovu onečišćenost, štetnost i opasnost za okoliš, članice Europske unije kao i ostale zemlje, donose jasna pravila o zamjeni fosilnih goriva, alternativnim i ekološki prihvatljivim.

Navedene odluke su dovele do povećane potražnje za šumskom biomasom, a sukladno tome dolazi do iskorištenja dijelova stabla koji do sada nisu bili iskorištavani ili su bilo rijetko iskorištavani, a to su: ostaci na sječinama, materijal iz čišćenja i ranih prorijeda, energijske šume kratkih ophodnji i drugo.

Pogodovanju potražnji biomase kao izvora energije je povećanje cijene fosilnih goriva, ali obzirom na svu veću ekološku osviještenost zemlja kao i pojedinaca, jedna od najvećih prednosti u odnosu na ostale energente je količina štetnih plinova koja nastaje prilikom izgaranja, a ista je ispod dopuštene razine.

## **2. PROBLEMATIKA**

Biomasa potječe od grčke riječi *bios* što znači život i latinske riječi *massa* što znači tijelo. Prema normi HRN EN ISO 16559:2014 u znanstvenom i tehničkom smislu, čvrsta biogoriva 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 (Krpan i dr. 2015). Vrste čvrstih biogoriva, temeljne značajke i prosječne vrijednosti parametara kakvoće navedene su u normi HRN EN ISO 17225-1:2014 Solid biofuels – Fuel specifications and classes -- Part 1: General requirements.

Biomasa obuhvaća drvenu biomasu iz šumarstva ili u obliku otpadnog drva, drvenu uzgojenu biomasu u vidu brzorastućeg drveća, nedrvnu uzgojenu biomasu (alge i trave), ostatke iz poljoprivrede, gradski i industrijski otpad te životinjski otpad i ostatke.



Slika 2. Porijeklo i oblici čvrstih biogoriva

Energijske biljke mogu biti brzorastuće drveće, višegodišnje trave ili alge, pod ostacima podrazumijevamo poljoprivredni, šumski i industrijski otpad nakon primarne proizvodnje, koji se koristi za proizvodnju toplinske i električne energije te prerađuje u bioplin i tekuća biogoriva (Jurič, 2015).

Šumska biomasa podrazumijeva biomasu nadzemnih dijelova stabala, uključujući deblo, krošnju s lišćem, odnosno iglicama kod crnogorice, sjemenke, češere te panj. Panj se u većini zemalja rijetko koristi jer on ima protuerozijsku funkciju. U zemljama s manje šumske biomase i u energijskim nasadima, panj se upotrebljava kako bi nadomjestio nedovoljnu količinu debala i krošanja.

Energijske biljke mogu biti brzorastuće drveće, višegodišnje trave ili alge, pod ostacima podrazumijevamo poljoprivredni, šumski i industrijski otpad nakon primarne proizvodnje, koji se koristi za proizvodnju toplinske i električne energije te prerađuje u bioplin i tekuća biogoriva (Jurič, 2015).

Značajke šumske biomase su: fizikalna svojstva koja utječu na ogrjevnu vrijednost (udio pepela, udio vode, gustoća i dr.), kemijski sastav, a najvažnija je ogrjevna vrijednost te temperatura samozapaljenja i izgaranja.

Ovisno o tome upotrebljavamo ili vrste listača ili četinjača, odnosno meko ili tvrdo drvo, udio pojedinih sastojaka se mijenja te je različita i tvar koja se koristi za gorivo. U šumarstvu pri iskorištavanju i protupožarnoj zaštiti nastaju velike količine šumske biomase, koje se mogu upotrijebiti za proizvodnju energije. Tako se može iskoristiti i drvo poslije vjetroлома, vjetroizvala, ledoloma, od oboljelih stabala i dr.

Pri klasičnom pridobivanju drva u Republici Hrvatskoj se koristi drvo debla, krošanja i grana čiji je promjer s korom na tanjem kraju veći od 7 cm. Na taj se način iskoristi oko 60 % do 70 % drvnog obujma starijih sastojina, a oko 50 % kod mladih. Ostatak pri sječi i izradi te privlačenju drva čini otpad, čiji udio ovisi o raznim čimbenicima (Šimac, 2015). Ostatak pri sječi i izradi te privlačenju drva od panja do šumske ceste čini drvni otpad. Udio ostataka i otpada ovisi o brojnim čimbenicima. No, prosječno se za sve sastojine i vrste drveća pri sječi i izradi te privlačenju može računati s nešto više od 20% ostatka (Šljivac 2008).

Tablica 1. Energetska vrijednost goriva iz biomase (Izvor: [www.oie.mingorp.hr](http://www.oie.mingorp.hr))

GORIVO	SADRŽAJ VODE	MJ/kg
<b>Hrast</b>	<b>20</b>	<b>14,1</b>
<b>Bor</b>	<b>20</b>	<b>13,8</b>
<b>Slama</b>	<b>15</b>	<b>14,0</b>
<b>Sjemenje</b>	<b>15</b>	<b>14,42</b>
<b>Repično ulje</b>	-	<b>37,1</b>
<b>Kameni ugljen</b>	<b>4</b>	<b>30-35</b>
<b>Smeđi ugljen</b>	<b>20</b>	<b>10-20</b>
<b>Lož ulje</b>	-	<b>42,7</b>
<b>Bioetanol</b>	-	<b>25,5</b>
<b>Deponijski plin</b>	-	<b>16,0</b>
<b>Plin iz drva</b>	-	<b>7,0</b>
<b>Bioplin iz životinjskih ostataka</b>	-	<b>22,0</b>
<b>Prirodni plin</b>	-	<b>31,7</b>
<b>Vodik</b>	-	<b>10,08</b>

Šumski ostatak je dio nadzemne biomase stabla koji na šumskoj površini preostaje nakon provedene sječe i izrade drvnih sortimenata propisanih odnosnim normama. Najčešće se odnosi na granjevinu i ovršine, a njegova količina i iskoristivost ovise o sustavu i metodi pridobivanja drva. Dijeli se na svježi ili zeleni ostatak i prosušeni ili smeđi ostatak. Svježi ostatak uključuje i lišće ako potječe od bjelogoričnih stabala, odnosno iglice ako potječe od crnogoričnih stabala (Vusić, 2013).

Udio različitih kategorija šumskog zemljišta u ukupnoj površini iznosi za obraslo 89 %, neplodno 2 %, neobraslo proizvodno 8 %, neobraslo neproizvodno 1 % (Anon 2006). Pod obraslim šumskim zemljištem u iznosu od 89 % podrazumijevamo i degradirane oblike medunčevih i crnikovih šuma, odnosno makiju, garig, šibljak i šikaru koji nemaju gospodarsku ulogu i važnost. Navedenim degradacijskim oblicima j potrebno promijeniti uzgojni oblik u oblik konačne šume kako bismo dobili produktivni materijal. Na taj način bismo potencijalu šumsku biomasu iskoristili u potpunosti. Nadalje, neobraslo proizvodno tlo bismo trebali pošumiti te ih na taj način prevedemo u obraslo šumsko tlo.

Šumske kulture i plantaže su najučinkovitije po pitanju proizvodnje biomase jer se u njima može jednostavnije, organizacijski i tehnološki uskladiti metode pridobivanja šumske biomase sa aspekta vremena i novca, za razliku od regularnih i prebornih šuma. Šumske kulture zauzimaju oko 3% od ukupne površine pod šumama (Perić i dr. 2011). Navedeni podaci o kategorijama šumskog zemljišta nam govore da hrvatsko šumarstvo mora uložiti napore da se ove površine povećaju ako žele biti još konkurentnije susjednim zemljama.

Godišnji prirast u šumama Republike Hrvatske iznosi oko 10 526 000 m<sup>3</sup>, a godišnji etat oko 6,5 milijuna m<sup>3</sup>. U udjelu drveća prednjači bukva sa 37 %, hrast lužnjak 15 %, hrast kitnjak 10 %, jasen 4 %, ostala bjelogorica 18 %, jela 10 %, smreka 2 %, ostala crnogorica 4 %. (Jurić, 2015). Cilj je povećanje korištenja šumske biomase za proizvodnju energijskog drva, a to se posebno odnosi na drvni ostatak koji je bio mamac za štetnike.

Najučinkovitije su plantaže i kulture brzorastućih vrsta kao što su topole i vrbe kojima je ophodnja iznosi 3-5 godina (najviše 12), jer se njima može najjednostavnije organizacijski i tehnološki uskladiti metoda prikupljanja šumske biomase obzirom na vrijeme i troškove u odnosu na preborne i regularne šume. Prinos drvne mase na takvim plantažama obično se kreće od 8 do 25 tona suhe tvari po hektaru godišnje ([www.mingorp.hr](http://www.mingorp.hr)).

Tablica 2. Udio obnovljivih izvora energije u zemljama Europske unije, 2013-2015([eur-lex.europa.eu](http://eur-lex.europa.eu))

Država članica	OIE-svi								Prijevoz (s višestr. brojanjem)	
	Udio OIE-a u 2013.	Prosječan udio OIE-a u 2013./2014.	Indikativni tijek RED-a (2013./2014.)	udio OIE-a u 2014.	udio OIE-a u 2015. (zamjene)	Indikativni tijek RED-a (2015./2016.)	predviđen udio OIE-a u 2020. (PRIMES Ref. 2016.)	cilj OIE-a u 2020.	udjeli OIE-P u 2014.	udjeli OIE-a u 2015. (zamjene)
	% krajnja potrošnja								% krajnja potrošnja	
AT	32.3%	32.7%	26.5%	33.1%	33.6%	28.1%	35.2%	34.0%	8.9%	8.3%
BE	7.5%	7.8%	5.4%	8.0%	7.3%	7.1%	13.9%	13.0%	4.9%	3.3%
BG	19.0%	18.5%	11.4%	18.0%	18.4%	12.4%	20.9%	16.0%	5.3%	5.3%
CY	8.1%	8.5%	5.9%	9.0%	9.1%	7.4%	14.8%	13.0%	2.7%	2.2%
CZ	12.4%	12.9%	8.2%	13.4%	13.6%	9.2%	13.5%	13.0%	6.1%	6.0%
DE	12.4%	13.1%	9.5%	13.8%	14.5%	11.3%	18.5%	18.0%	6.6%	6.4%
DK	27.3%	28.2%	20.9%	29.2%	30.6%	22.9%	33.8%	30.0%	5.8%	5.3%
EE	25.6%	26.0%	20.1%	26.5%	27.9%	21.2%	25.7%	25.0%	0.2%	0.2%
EL	15.0%	15.2%	10.2%	15.3%	15.5%	11.9%	18.4%	18.0%	1.4%	1.4%
ES	15.3%	15.8%	12.1%	16.2%	15.6%	13.8%	20.9%	20.0%	0.5%	0.5%
FR	14.0%	14.2%	14.1%	14.3%	14.5%	16.0%	23.5%	23.0%	7.8%	7.8%
FI	36.7%	37.7%	31.4%	38.7%	39.5%	32.8%	42.4%	38.0%	21.6%	22.0%
HR	28.1%	28.0%	14.8%	27.9%	27.5%	15.9%	21.1%	20.0%	2.1%	2.1%
HU	9.5%	9.5%	6.9%	9.5%	9.4%	8.2%	13.0%	13.0%	6.9%	6.7%
IE	7.7%	8.2%	7.0%	8.6%	9.0%	8.9%	15.5%	16.0%	5.2%	5.9%
IT	16.7%	16.9%	8.7%	17.1%	17.1%	10.5%	19.8%	17.0%	4.5%	4.7%
LT	23.0%	23.4%	17.4%	23.9%	24.3%	18.6%	24.0%	23.0%	4.2%	4.3%
LU	3.6%	4.1%	3.9%	4.5%	5.0%	5.4%	8.3%	11.0%	5.2%	5.9%
LV	37.1%	37.9%	34.8%	38.7%	39.2%	35.9%	40.3%	40.0%	3.2%	3.3%
MT	3.7%	4.2%	3.0%	4.7%	5.3%	4.5%	11.8%	10.0%	4.7%	5.0%
NL	4.8%	5.2%	5.9%	5.5%	6.0%	7.6%	13.0%	14.0%	5.7%	5.6%
PL	11.3%	11.4%	9.5%	11.4%	11.8%	10.7%	15.1%	15.0%	5.7%	5.9%
PT	25.7%	26.3%	23.7%	27.0%	27.8%	25.2%	33.4%	31.0%	3.4%	6.7%
RO	23.9%	24.4%	19.7%	24.9%	24.7%	20.6%	26.0%	24.0%	3.8%	3.9%
SE	52.0%	52.3%	42.6%	52.6%	54.1%	43.9%	56.2%	49.0%	19.2%	24.2%
SI	22.5%	22.2%	18.7%	21.9%	21.8%	20.1%	25.0%	25.0%	2.6%	2.6%
SK	10.1%	10.9%	8.9%	11.6%	11.9%	10.0%	14.3%	14.0%	6.9%	6.5%
UK	5.6%	6.3%	5.4%	7.0%	8.2%	7.5%	14.8%	15.0%	4.9%	4.2%
EU-28	15.0%	15.5%	12.1%	16.0%	16.4%	13.8%	21.0%	20.0%	5.9%	6.0%

Stvor: Direktiva 2009/28/EZ; Eurostat SHARES 2014; zasnaga za OIE u EGP-a (2015); PRIMES (2020, 2025, 2030)

Šumske kulture kao uzgojni oblik u ukupnoj površini šuma Republike Hrvatske iznose 3 % (Anon 2006), dok pod plantažama imamo vrlo mali udio površina, manje su zastupljene od kultura. Ovaj pokazatelj nam govori da hrvatsko šumarstvo mora uložiti napore da se ove površine povećaju ako žele biti konkurentne zemljama u regiji (Jurič, 2015).

Energija iz biomase se može dobiti na različite načine. Jedan od njih je izravno pretvaranje biomase u energiju izgaranje pri čemu se proizvodi vodena para pomoću koje se griju kućanstva i koja se koristi u industriji te dobivanje električne energije u malim termoelektranama. Osim navedenog postoje i kemijske konverzije biomase koja se odnosi na fermentaciju biomase u alkohol.

Glavna prednost biomase u odnosu na fosilna goriva je njena obnovljivost i potrajnost. Primjena biomase za proizvodnju energije danas se potiče uvažavajući načelo održivog razvoja. Najčešće se koristi drvena biomasa koja je nastala kao sporedni proizvod ili otpad te ostaci koji se više ne mogu iskoristiti (Jurič, 2015). Takva biomasa se koristi u obliku goriva u postrojenjima toplinske i električne energije. Obzirom na navedene prednosti, uporaba biomase za podmirenjem električne i toplinske energije će rasti na globalnoj razini.



Slika 3. Potrošnja obnovljivih izvora energije od 2004-2015. (Izvor: <http://eur-lex.europa.eu>)

## 2.1. Pridobivanje šumske biomase za energiju

Prerada šumske biomase u oblik pogodan za korištenje je složen zadatak. Tehnološkim razvojem i unapređenjem u 20. stoljeću šumarstvo kao gospodarska grana doživljava postepene promjene tehnologije i metoda izvođenja radova. Metode sječe i izradbe stabala su određene oblikom u kojem se drvo doprema do pomoćnog stovarišta, a ovisi o stupnju izradbe na mjestu sječe. Usporedno sa izradom kvalitetne tehničke oblovine nastaje šumski ostatak koji se može upotrijebiti kao sirovina za proizvodnju drvene sječke (Šimac, 2015).

Uz djelovanje radnim strojevima na usitnjavanju biomase bitnu ulogu ima i rukovanje tijekom procesa proizvodnje, a to su; transport, premještanje, skladištenje, sušenje i dr.

Zbog sve većeg interesa za šumskom biomasom u praksu se uvodi metoda iveranja ili sječkanja kojom usitnjavamo drvo. Usitnjavanje se obavlja iveračima koji omogućuju usitnjenost drva i drvnog ostatka, a bitni čimbenici su njegova veličina (granulometrijski sastav), ukupna vlaga i nasipna gustoća. Iveranje šumske biomase se može obavljati u šumi ili u industrijskom postrojenju.

Važan čimbenik pri proizvodnji šumske biomase je transport zbog njegovih visokih troškova na koje utječe udaljenost mjesta izrade i korištenja u postrojenjima, te udio vlage.

## 2.2 Slučaj tvrtke Spin Valis Požega

Istraživanje kakvoće drvene sječke, briketa, kore bukve i hrasta je obavljeno u požeškoj tvrtci Spin Valis d.d. Tvrtka se prvenstveno bavi proizvodnjom namještaja od drva, ali i preradom višemetarskog prostornog drva u drvenu sječku za potrebe kogeneracijskog postrojenja kao i proizvodnjom briketa.

Ulaganja u posljednje četiri godine u visini od oko 120 milijuna kuna su u novu opremu, informatizaciju i kadar. Iz potrebe za toplinom za sušenje drveta za proizvodnju namještaja iz masiva bukve i hrasta krenulo se u investiciju izgradnje kogeneracijskog postrojenja na biomasu. Veličina postrojenja i njegova snaga izrađeni su na izračunu drvenog ostatka, kore i drveta nakon izrade elemenata za proizvodnju namještaja te je snaga postrojenja 1,5MW električne energije i 8,8 MW toplinske energije. Toplina se za sada isključivo koristi za vlastite potrebe sušenja drveta oko 4500 m<sup>3</sup> sušarskog kapaciteta, te protočna sušara za sušenje sirove piljevine iz pilane i polufinale. Iz piljevine proizvode visokokvalitetni briket u obliku ciglice koji se može koristiti u konvencionalnim ložištima za drvo te griju kompletan proizvodni prostor. Godišnje prerađuju oko 45000 m<sup>3</sup> bukovih trupaca i isto toliko hrastovih.



Slika 4. Ulaz u tvrtku Spin Valis sa kolnom vagonom



Kora se sa trupaca po dovozu iz šume skida na liniji za koranje čime se isključuje uporaba insekticida. Proizvodnja je usklađena sa što manjim štetnim utjecajem na okoliš.



Slika 5. Hrpa kore hrasta nakon koranja trupaca

Tvrtka u svojem 100 % vlasništvu ima još i Spin Valis Internacional d.o.o (kogeneracijsko postrojenje) i Valis Fagus d.o.o proizvodnja ljepljenih ploča. Ukupan broj zaposlenih za sve tri tvrtke varira zbog dijela radnika na pilani gdje je posao prerade vezan za dovoz trupca iz šume i kreće se oko 400-500 radnika.

### 3. MATERIJALI I METODA ISTRAŽIVANJA

#### 3.1 Materijal istraživanja

Uzorci na kojima je provedeno ispitivanje su prikupljeni u poduzeću Spin Valis Internacional d.o.o.. U ispitivanju su korištena tri uzorka drvene sječke listača s korom, listača bez kore, uzorak peleta, posebno kora bukve i hrasta i nekoliko uzoraka kolutova višemetarskog drva hrasta.

##### 3.1.1 Drvna sječka

Drvna sječka je (eng. *woodchips*, njem. *Holzhacksnitzel*, *Hackgut*) prema normi EN ISO 16559:2014 definirana kao usitnjena drvna biomasa u obliku čestica određene veličine proizvedenih mehaničkim postupkom ostrim sječivom. Prema porijeklu izvorište drvene biomase za proizvodnju drvene sječke mogu biti prirodne šume ili plantaže, ostatak drvno-industrijske prerade, reciklirano drvo ili mješavine navedenih kategorija (Vusić i Pandur 2010).

Drvna sječka je jedan vrlo raznolik izvor energije, većina značajki joj je zadana i ograničava mogućnost poboljšanja kvalitete tijekom proizvodnog procesa (Vusić 2013). Prvenstveno se to odnosi na kemijski sastav drvene biomase, koji zbog većeg udjela kisika i vodika naspram ugljika rezultira manjom kaloričnom vrijednošću u usporedbi s fosilnim gorivima (McKendry 2002).

Na udio vode šumskog biogoriva uvelike utječe način skladištenja i vrijeme usitnjavanja. Ukoliko je skladišteno na ispravan način i usitnjeno u optimalno vrijeme, udio vode se smanjuje. Vrijeme u kojem je gubitak vlage najveći, a gubitak suhe tvari još uvijek prihvatljiv za postizanje najveće kalorične vrijednosti i goriva se naziva optimalno vrijeme.

Ovisno o početnim značajkama i strukturi raspoložive sirovine uz korištenje prikladnih i dobro održavanih strojeva za usitnjavanje biomase moguće je utjecati na poboljšanje granulometrijske strukture drvene sječke. Posebna pažnja u lancu dobave u kojima se rukuje šumskim biogorivom se mora posvetiti smanjenju kontakta s onečišćujućim anorganskim tvarima kako bi se udio pepela održao na nivou što bližem izvornom (prirodno zadanom) (Vusić, 2013).

Vlažnom drvnom sječkom, te sječkom koja sadrži visoke udjele zelenog dijela drva i kore te drva koje dolazi direktno iz šume mogu se opskrbljivati postrojenja kapaciteta većeg od 1 MW, dok se kod malih postrojenja udio vode u drvu mora smanjiti na vrijednost manju od 30 %, inače

dolazi do mogućnosti zagušenja sustava i stvaranja čađe, te se zbog toga drvena sječka za manja postrojenja mora uskladištiti i prosušiti (Loibnegger 2011).



Slika 6. Drvena sječka u skladištu

Drvena sječka dobre kvalitete (u odnosu na drvenu sječku loše kvalitete) daje visoku ogrjevnu vrijednost kroz propisno prosušivanje što rezultira manjom potrošnjom goriva, većom učinkovitošću sustava, učinkovitošću rukovanja, boljom regulacijom sustava i čistim sagorijevanjem (Loibnegger 2011).

Drvena se sječka koristi za proizvodnju energije u velikim industrijskim sustavima grijanja te za proizvodnju električne i toplinske energije. U velikim postrojenjima sa specijalizirano izrađenim kotlovima, može se koristiti drvena sječka s velikim udjelom vode te tu njezina prednost dolazi do izražaja. Nadalje, izradom drvene sječke omogućeno je veće iskorištenje drvene biomase koja zbog svojih značajki nije dovoljno kvalitetna ili odgovarajuća za proizvodnju “tradicionalnih” drvnih sortimenata i inače ostaje neiskorištena na šumskom tlu, sječini.

Sustavi grijanja male i srednje snage moraju isključivo koristiti prosušenu, visokokvalitetnu drvenu sječku, dok se u velikim toplanama na biomasu može koristiti i sječka slabije kvalitete (Loibnegger 2011).

Postrojenja većeg kapaciteta od 1 MW mogu se opskrbljivati vlažnom drvnom sječkom te sječkom koja sadrži visoke udjele svježeg drva i kore te drva koja dolaze izravno iz šume.



Slika 7. Sustav pridobivanja i korištenja drvne biomase

Kakvoća drvne sječke, metode uzorkovanja i provođenja laboratorijskih ispitivanja propisane su odnosnim normama Tehničkoga odbora CEN/TC 335 Solid biofuels. Prema normi, HRN EN ISO 17225-1:2014 Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 1: General requirements, svakoj je drvnoj sječki nužno specificirati porijeklo, granulometrijsku strukturu, maseni udio vode i maseni udio pepela. Informativno se u specifikaciji može navesti i neto kalorična vrijednost ili energijska gustoća, nasipna gustoća te temperatura deformacije tijekom taljenja pepela. Maseni udio dušika i maseni udio klora obavezno je navesti ako je drvena sječka proizvedena od prethodno kemijski tretirane biomase, a za ostale sirovine udio se dušika i klora može navesti informativno (Vusić 2013).

### 3.1.1.1 Proizvodnja drvne sječke

Sustav za proizvodnju drvne sječke je složen, a uključuje sječu, obradu, izradu i transport, donošenje odluka s ciljem pretvorbe šumske biomase u gorivo te transport dobivenog energenta iz šume do energane.

Sustavi za proizvodnju drvne sječke se obično organiziraju prema radnoj operaciji iveranja. Mjesto iveranja određuje vrstu šumske biomase za daljinski transport, te da li će ili ne ostali strojevi moći raditi neovisno o samom iveraču. Mjesto iveranja može biti u šumi, na šumskoj cesti, pomoćnom stovarištu ili kod energane. Biomasa može biti transportirana u obliku šumskog ostatka, oblog drva, sabijenih svežnjeva i u obliku drvne sječke. Konačna gustoća tovara i udaljenost transporta određuju uspjeh cijelog sustava (Stampfer i Kanzian 2006).



Slika 8. Prikaz proizvodnog sustava pridobivanja drvne sječke ([Izvor:eur-lex.europa.eu](http://eur-lex.europa.eu))

Iveranje u šumskim sastojinama se rijetko koristi. Najčešće se drvena sječka proizvodi na šumskoj cesti i nakon toga se preveze do energane. Najveći problem takvog načina proizvodnje drvne sječke je povećani nagib terena što stvara ograničen prostor na raspolaganju šumskim cestama. Neposredni utovar drvne sječke u kamion izravno s iverača uvjetuje da se nalaze jedan pored drugoga, a problem predstavlja širina šumske ceste. Rješenje je razdavanje radnog procesa, pri čemu strojevi postaju neovisni jedan o drugom, ali to iziskuje dodatne troškove koji nastaju pri utovaru u kamion. Iveranje kod energane čini proces iveranja i transporta neovisnim jednim od drugoga pri čemu se biomasa transportira u obliku šumskog ostatka, cijelih stabala ili drvnih sortimenata. Nedostatak iverenja biomase kod energane je potreba za velikim skladišnim prostorom biomase koja dolazi iz šume kao i potreba za skladišnim prostorom za pohranu drvne sječke.

### 3.1.2 Briketi

Drvni briketi (eng. *briquettes*, njem. *Briketts*) su geometrijski pravilni komadi prešane usitnjene drvne sirovine. Na tržištu su prisutni briketi valjkastog i prizmatičnog oblika. Ovaj energent prethodio je peletima, a bio je raširen u nekim razvijenim zemljama gdje su ga koristili osvješteniji kupci jer nije bilo prevelike razlike u cijeni u odnosu na klasična drvena goriva.

Briketi su slični kratko cijepanom drvu po obliku, dimenzijama i načinu uporabe, ali ih karakterizira veći energetska potencijal (Šafran 2015). Proizvode se prešanjem suhog usitnjenog drva 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). Briketi se mogu koristiti u svim vrstama ložišta za čvrsto gorivo, uz pažljivo doziranje (Herak 1987). Osim toga, korištenje briketa ima značajnu ekološku prednost jer sadržaj sumpora je u tragovima (dolazi do manjeg zagađenja okoliša), a nastali pepeo može poslužiti kao mineralno gnojivo (Brkić 2007).



Slika 9. Briketi firme Spin Valis Internacional Požega (SVI)

Problem briketa predstavlja njihova distribucija jer je briket nezgodan za skladištenje, većinom pakiran u vrećama od 5 kg, 10 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 (Friščić, 2016)

Briket za razliku od ostalih proizvoda iste namijene ima izvrsnu moć zagrijavanja te toplinu unutar peći zadržava iznimno dugo. Zbog svojih prirodnih karakteristika i zahvaljujući svojoj visokoj gustoći i niskom sadržaju vlage, sagorijevaju mnogo sporije i uz manje dima od primjerice drva. (Fabijanec, 2016)

Briketi su zapravo biomasa koja zamjenjuje primjerice ugljen i drveni ugljen. O kvaliteti i upotrebljivosti briketa najviše govori podatak kako se isti koristi pretežno u zemljama s najrazvijenijim gospodarstvima koja mogu ulagati u ekološki prihvatljivija goriva i poticati građane na potrošnju isplativijih čvrstih biogoriva kao što su briketi. Briketi se u razvijenijim 16 zemljama koriste za zagrijavanje kotlova pomoću kojih se proizvodi električna energija iz pare. (Izvor: spacva.hr)

### 3.1.2.1 Proizvodnja briketa

Briketi se formiraju prešanjem usitnjenih čestica lignoceluloznog materijala bez vezivnog sredstva pod određenim uvjetima: visok tlak, povišena temperatura i optimalni sadržaj vode u sirovini. Udarni tlak klipa preše iznosi 210 bar-a (Herak 1987).

Prilikom prešanja drvene sirovine volumen iste se smanjuje pri čemu se postiže gustoća briketa 800 do 1200 kg/m<sup>3</sup>. Temperatura alata preše iznosi 90°C. Termoplastičnim sljepljivanjem čestica se postiže zbijenost i kompaktnost usitnjenih čestica. Također, važnu ulogu pri prešanju ima i sadržaj vode koji bi trebao biti ispod 15. Ogrjevna vrijednost sirovine iznosi 16 do 18 MJ/kg.



Slika 10. Pogon za proizvodnju briketa u firmi Spin Valis Internacional Požega 2016.

Briketi se obično pakiraju u termoskuplajuću foliju, kartonske kutije, papirne ili plastične vreće. Tehnološki postupak briketiranja usitnjene lignocelulozne sirovine zasniva se na visokom

tlaku u alatu preše 150 do preko 200 bar-a, koji biomasu pretvara u brikete kompaktne forme velike gustoće (Zubac 1996).

Briketiranjem se volumen biomase piljevine smanjuje 7 do 12 puta i dobiva se gustoća briketa 1,0 do 1,4 kg/dm<sup>3</sup>. Briketi se pakiraju u kartonske kutije po 10 kg i PVC vreće od 25 – 40 kg ili u termoskupljajuću plastičnu foliju. Pakiranje i zaštita briketa je neophodno zbog izrazite higroskopnosti sabijene sirovine (Brkić 2007)

### 3.1.3 Kora nekih gospodarskih vrsta drveća

Kora je vanjski omotač drveta, a sastoji se od vanjskog i unutrašnjeg dijela. Vanjska je kora vanjski mrtvi zaštitni dio, a proteže se od vanjskog dijela unutrašnje kore pa sve do periferije poprečnog presjeka drva. Unutrašnji dio kore čini floem i on obavlja fiziološku zaštitnu funkciju, a proteže se od kambija pa sve do unutrašnjeg dijela vanjske kore.

Debljina kore ovisi o vrsti drva te je proporcionalna promjeru stabla ili izrađene oblovine. Povećanjem promjera oblovine raste i udio kore, a postotak kore opada. Nije ista debljina kore na vrhu i pri dnu stabla, ona opada od padanja prema vrhu. Obzirom na to da kora ovisi o vrsti drveća razlikujemo više tipova kore prema izgledu: glatka, nervna ili ponekad naborana tanka kora (*Fagus sylvatica L.*), tanka kora s plitkim uzdužnim pukotinama ili rebrima (*Liriodendron tulipifera L.*), uzdužno izbrazdana debela kora s razvijenim valovitim ili zaobljenim rebrima (*Castanea sativa Mill.*), debela i gruba kora s isprepletenim rebrima (*Fraxinus excelsior L.*), tanko plitko raspucana kora u nepravilne ljuške (*Abies alba Mill.*), srednje debela raspucala kora u male do srednje velike ljuške (*Picea abies L.*), ljuskava kora ili s velikim izduženim asimetričnim pločicama (*Pinus sylvestris L.*), a kora hrasta je u mladosti glatka s blagim sivo-zelenkastim sjajem, a kasnije uzdužno ispucana. U starosti postaje debela te može doseći debljinu od 10 cm, sivosmeđe je boje i uzdužno je ispucala dubljim i poprečno plitkim brazdama.

Kod izmjere tehničke oblovine prema normi HRN EN 1309-2:2006, mjerni promjer se mora umanjiti za dvostruku debljinu kore. U ovom slučaju promjer bez kore se uzima u obzir kako bi se odredila dimenzija, a nakon toga i klasa kakvoće.

Prema normi HRN EN 1309-2:2006 predviđene su tri mogućnosti redukcije promjera: određivanje debljine kore na mjestu mjerenja, prema ugovoru određenim specifikacijama te primjenom odgovarajućih tablica debljine kore koje izdaje ponuđač drva.



Dvostruka debljina kore se izračunava na slijedeći način:

$$2k = D - d, \text{ cm}$$

Udio kore u oblovinu,

$$P = \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right) * 100 = \left(1 - \frac{(D - 2k)^2}{D^2}\right) * 100$$

D- promjer oblovine s korom, cm

d- promjer oblovine bez kore, cm

Izračun obujma Huberovim izrazom u kojem se koristi odbitak dvostruke debljine kore zaokružen na puni centimetar.

$$V = \frac{(D - 2k)^2 * \pi}{40000} * L = \frac{d^2 * \pi}{40000} * L,$$

V- obujam oblovine, m<sup>3</sup>

d- promjer oblovine bez kore, cm

L- duljina oblovine, m



gdje su:

L – duljina oblovine, m

D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> – unakrsni promjeri na sredini duljine oblovine s korom, cm

Slika 11. Mjerenje dimenzija obloga drva

Za odbitak kore u Republici Hrvatskoj se koriste dvoulazne tablice u kojoj ulazne varijable čine vrsta drva i promjer s korom gdje su odbici kore izraženi u punim centimetrima za određeni raspon promjera.

U osnovi, kora zauzima 9-15 % volumena u ukupnom volumenu stabla ili malo više kada je drvo osušeno. Tada udio kore iznosi 13-21 %. Obično kora sadrži preko 20 % pepela zbog rastresitosti zemlje i pijeska koji se može nalazi u brazdama kore. Nadalje, kora iz panjeva koji su oboreni i oljušteni mogu sadržavati puno pijeska koji stvara značajni udio pepela. Pijesak je problematičan jer oštećuje pile i alat za sječu kao i mehanizaciju u preradi drva (Izvor: <http://www.academia.edu>).

Kora ima dugu prošlost korištenja, a prema normi HRN EN ISO 17225-1:2014 svrstana je u čvrsta biogoriva kao novi oblik šumskih proizvoda. Može se koristiti i u druge svrhe kao sredstvo malčiranja u hortikulturi ili kao sirovina u farmaceutskoj industriji.

Tablica 3. Tablica odbitka kore pri mjerenju tehničke oblovine

**HsPro: Tablica odbitaka kore**

VRSTA DRVETA	PROMJER cm			ODBITAK KORE cm
	OD	DO	>=	
01 Lužnjak	12	30		2
24 Brijest nizinski	31	39		3
43 Crna joha			40	4
46 Bijela vrba				
47 Bijela topola				
48 Crna topola				
49 Trepetljika				
50 Domaće topole				
59 OMB				
02 Kitnjak	12	39		2
12 Jasen poljski			40	3
19 Javor gorski				
22 Klen				
27 Bagrem				
28 Orah crni				
29 Orah pitomi				
30 Kesten pitomi				
31 Trešnja divlja				
38 Vočke ostale				
39 OTB				
40 Lipa malolisna				
45 Breza obična				
10 Bukva	12	39		1
16 Grab			40	2
04 Cer	12	30		3
			31	4
51 I-214	12	24		1
52 Robusta	25	39		2
53 Marilandika			40	3
58 E. A. topole				
60 Obična jela				
61 Obična smreka				
62 Bijeli bor				
63 Crni bor				
64 Alepski bor				
65 Primorski bor				
66 Pinj				
67 Američki borovac				
68 Brucijski bor				
69 Borovi ostali				
70 Ariš evropski				
71 Ariš japanski				
76 Sitkanska smreka				
78 Duglazija				
79 Ostala crnogorica				

Kompleksnost kora i velike varijacije u kemijskim i fizičkim svojstvima između kora različitih vrsta je veliki problem pri iskorištavanju. Bilo kakvo veće kvalitetno iskorištavanje kore bila bi potrebna veća količina čiste suhe kore jedne vrste drveća, te se takvi uvjeti često ne mogu ispuniti obzirom da se kora dobiva od mješavina vrsta ili se dobiva u nedovoljnim količinama ta komercijalnu proizvodnju visoko kvalitetnih proizvoda.

Kora se može iskoristiti za gorivo. Deset tona potpuno suhe kore ima u prosjeku ogrjevu vrijednost 7 tona ugljena. Kora oljuštena mehaničkim putem od stabla u suho ljetno vrijeme ima vlažnost 34-40%, a kora okorana u zimsko vlažno vrijeme može imati do 60% udjela vode (Izvor,. <http://www.academia.edu>). Također, može zamijeniti u uporabu ugljena kao neobnovljivog izvora energije obnovljivim. Bez obzira na svoju prednost pred drugim izvorima goriva, bila ona kruta ili tekuća, i dalje se rijetko koristi zbog relativno velikog udjela vode kojeg sadrži. Najčešća uporaba kore je u zaštiti tla. Ovakva praksa započela je primjenom četinjača, a kasnije primjenom kore tvrdih i mekih listača.

## **3.2 Metoda istraživanja**

### **3.2.1 Terenski rad**

Istraživanje i analiza uzoraka je obuhvatila terenski rad i rad u Laboratoriju za šumsku biomasu Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Terenski rad se obavio na glavnom stovarištu tvrtke Spin Valis u Požegi kao i uzorkovanje. Kako bi se dobili što pouzdaniji rezultati istraživanja bitno je izvršiti propisno uzorkovanje, a to podrazumijeva uzimanje uzorka drvene sječke na različitim mjestima, ne sa vrha, već sa različitih mjesta hrpe i napuniti menzuru. Za određivanje nasipne gustoće drvene sječke korištena je posuda zapremine 50 l, digitalna viseća vaga s preciznošću očitavanja 0,1 kg i lopata za prikupljanje uzorka. Nakon što se drvena sječka prikupi na hrpu, potrebno je istu izmiješati i podijeliti na četiri jednaka dijela te uzeti jednu četvrtinu uzorka za laboratorijsku analizu i istu pohraniti u posudice zapremine oko 300 g.

Kod uzimanja kolutova višemetarskog prostornog drva, isti se uzima na sredini oblovine, nikako ne na početku, kako bi se dobili što točniji i vjerodostojniji rezultati.

Naspina gustoća drvene sječke je odnos određene količine drvene sječke i obujma koji ta količina drvene sječke zauzima. Iskazuje se u kilogramima po naspinom metru svježe drvene sječke u stanju pri preuzimanju ili preračunata u naspinu gustoću standardno suhe drvene sječke, ali bez korekcije za promjenu obujma čestica. Naspina gustoća ovisi o vrsti drva (gustoći drva), dijelu stabla iz kojeg se drvena sječka proizvodi, sadržaju vode, ali i o granulometrijskom sastavu i načinu iveranja. Određivanje naspine gustoće je važno za planiranje transportnih i skladišnih kapaciteta.

### **3.2.2 Laboratorijski rad**

Energijski potencijal i ostale značajke šumske biomase provode se prema novim hrvatskim normama za čvrsta biogoriva, HZN/TO 238 HRN EN u Laboratoriju za šumsku biomasu Šumarskog fakulteta Zagreb za određivanje udjela vlage, pepela i granulometrije, u HEP-ovom laboratoriju se obavlja određivanje mehaničke izdržljivosti briketa prema HRN EN 1510-2:2010, te na Drvno tehnološkom odsjeku analiza kalorične vrijednosti čvrstih biogoriva prema HRN EN 14918:2010.

#### **3.2.2.1 Oprema korištena za laboratorijsku analizu**

##### **Mlin rezni Retsch SM 300**



Mlin rezni Retsch SM 300 se koristi za usitnjavanje različitih tipova uzoraka rezanjem. Prikladan je za usitnjavanje mekih, srednje tvrdih, tvrdih, elastičnih, vlaknastih i heterogenih mješavina uzoraka. Ima raspon podešavanja brzine vrtnje od 700 do 3000 min<sup>-1</sup>. Sadrži rotor sa šest diskova te ima sito trapezoidnog otvora oko dimenzija 1 mm za usitnjavanje bez kontaminacije teškim metalima.

### Prijenosna digitalna vaga Kern EMB



Prijenosna digitalna vaga Kern EMB koristi se za određivanje mase uzoraka. Maksimalna masa vaganja iznosi 6000 g s preciznošću očitavanja 0,01g.

### Sušionik Binder FD 115



Sušionik Binder FD 115 se koristi prilikom gravimetrijskih analiza. Volumen radnog prostora iznosi 115l. Raspon podešavanja temperature je od +5 °C iznad temperature okoline do 300 °C (rezolucija 1 °C) . Ima podesivu prednja ventilacijska zaklopka i stražnji ispuh promjera 50 mm

### Tresilica sita vibracijska Retsch AS 400 control



Tresilica sita vibracijska Retsch AS 400 control se koristi za utvrđivanje granulometrijske strukture uzoraka. Sastoji se od sita promjera 400 mm. Ujednačeno se kružno horizontalno gibaju

(od 50 do 300 min<sup>-1</sup> ). Precizno razdvaja sitne od krupnih čestica. Opremljen je sitima okruglih otvora oka promjera 3,15 mm, 8 mm, 16 mm, 45 mm i 63 mm.

### **Peć mufolna Nabertherm L9/11**



Mufolna peć Nabertherm L9/11 se rabi za kontrolirano žarenje laboratorijskih uzoraka radi određivanja udjela mineralnih tvari (pepela). Ima podizna vrata. Nominalna temperatura iznosi 1100 °C. Kontrola temperature termočlankom NiCr-Ni. Upravljački kontroler P 330. Ima mogućnost programiranja temperaturnih gradijenata i rampi. Sadrži dimnjak s ventilatorom i katalizatorom.

### **Eksikator**



Eksikator koristi se za polagano sušenje i čuvanje tvari koje lako apsorbiraju vlagu iz zraka. Na dnu eksikatora se nalazi hidroskopi materijal koji apsorbira samu vlagu iz uzorka. Najčešće se izrađuju od debelog lijevanog stakla i zatvaraju se poklopcem čije brušene dijelove treba namazati vazelinom kako bi postali nepropusni za zrak.

### **Vaga analitička Mettler Toledo, XA 204 DR**



Vaga analitička Mettler Toledo, XA 204 DR se koristi za određivanje mase uzorka. maksimalna težina vaganja iznosi 80 / 220 g. Preciznost očitavanja je 0,01 / 0,1 mg.

## 4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Istraživana je drvena sječka iz višemetarskog drva, zatim iz usitnjenog drvnog ostatka iz primarne prerade drva, a namjena joj je korištenje u kogeneracijskom postrojenju istraživanog poslovnog subjekta, tvrtke Spin Valis d.d. Požega Istraživanja su još provedena na uzorcima briketa te na uzorcima kore hrasta i kore bukve.

### 4.1 Određivanje vlage kolotova višemetarskog drva

Na terenu je prikupljeno 5 uzoraka kolotova višemetarskog drva hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.). Pomoću digitalne vage KERN 440-49A je svaki kolot izvagan pojedinačno te nakon toga stavljen u sušionik Binder FD 115 na 24 sata. Nakon sušenja su ponovno izvagani. Pomoću dobivenih rezultata prije sušenja i nakon sušenja, dobiva se podatak o udjelu vlage za svaki pojedini uzorak, kolot višemetarskog drva, a označeni su rednim brojevima, 1-5. Prosječni udio vlage iznosi 35,9 %.



Slika 12. Uzorci kolotova i drvene sječke u sušioniku



Slika 13. Obilježba uzoraka kolotova hrasta

### Vlaga na svježoj osnovi M (%)

Izražava prisutnu masu vode u odnosu na masu svježeg drva. Ova se mjera koristi u trgovanju ogrjevnim drvom.

$$M = \frac{W_w - W_0}{W_w} * 100$$

Pritom je:

$W_w$  = masa uzorka u svježem stanju

$W_0$  = masa uzorka u standardno suhom stanju

## 4.2 Briketi

Dimenzije briketa (duljina, širina i visina) se izmjere pomičnim mjerilom te se nakon toga izvažuju. Svakom uzorku briketa je dodijeljena oznaka. Vaganje briketa je obavljeno pomoću digitalne vage KERN 440-49A. Nakon vaganja, briketi su stavljeni u sušionik Binder FD 115 na sušenje na 24 sata na temperaturu od 105°. Nakon sušenja, obavljeno je ponovno vaganje.

Tablica 4. Dimenzije, obujam i nasipna gustoća briketa

	Masa, g	L1-duljina , cm	L2-širina, cm	L3-visina, cm	V- cm <sup>3</sup>	DE, g/cm <sup>3</sup>
1	858,3	15,1	6,1	9,0	828,99	1,04
2	906,2	15,1	6,1	9,5	875,05	1,04
3	904,2	15,0	6,1	9,0	823,50	1,10
4	835,4	15,0	6,1	8,8	805,20	1,04
5	838,0	15,1	6,1	8,9	819,78	1,02
6	867,1	15,1	6,1	9,1	838,20	1,03
7	866,7	15,1	6,1	9,1	838,20	1,03
8	851,2	15,1	6,1	8,9	819,78	1,04
9	864,7	15,0	6,0	9,1	819,00	1,06
10	865,0	15,1	6,1	9,1	838,20	1,03
11	832,1	15,0	6,0	8,7	783,00	1,06
12	855,2	15,0	6,1	9,0	823,50	1,04
<b>max</b>	832,1	15,0	6,0	8,7	783,00	1,02
<b>min</b>	906,2	15,1	6,1	9,5	875,05	1,10
<b>prosjeck</b>	862,01	15,06	6,08	9,02	826,03	1,04

Analizom 12 uzoraka briketa, utvrđeno je da prema normi HRN EN ISO 17225-3:2014 Čvrsta biogoriva – Specifikacije goriva i razredi – 3. dio: Klasifikacija drvnih briketa; istraživani drveni briketi mogu se klasificirati u najkvalitetniji A1 razred. Utvrđen je oblik 7, s prosječnom masom briketa od 862,01 ±23,65 g, prosječnim volumenom (V) 826,03 ±21,9 cm<sup>3</sup> te prosječnom gustoćom (DE) od 1,04 ± 0,02 g/cm<sup>3</sup>.

Gornja ogrjevna vrijednost za dostavljene uzorke prema normi HRN EN 14918:2010 iznosi 19,33 MJ/kg suh i 19,15 MJ/kg suh na zraku, a donja ogrjevna vrijednost prema normi HRN EN 14918:2010 iznosi 18,03 MJ/kg suh i 17,85 MJ/kg suh na zraku sa prosječnim udjelom vlage od 6,9 % (tablica 5).



Tablica 5. Maseni udio vlage u briketima

Uzorak Briket-oznaka	Poduzorak	Masa preuzeto, g	Masa standardno suho, g	Vlaga, %	
R-16-3-005	1	451,8	419,7	7,104914	6,9
	2	464,8	432,3	6,992255	
	3	480,3	448,1	6,704143	

Nadalje, mehanička izdržljivost briketa prema normi HRN EN 15210-2:2010 iznosi 98,0 % što je više nego zadovoljavajući rezultat.

Udio pepela se evidentira na način da se izlomljeni briketi usitnjavaju u reznom mlinu Retsch SM 300, nakon čega se stavljaju u evidentirane posudice, poslije se iz posudica uzima usitnjeni uzorak koji se stavlja u posebne posudice koje se stavljaju u peć na 4 sata nakon čeka se izvažu posudice i odredi udio pepela. Maseni udio pepela u briketima prosječno iznosi 0,31 %.

Tablica 6. Maseni udio pepela u briketima

Uzorak	Masa posude, g	Masa prije, g	Masa nakon, g	Udio pepela,%	Udio pepela,%
R-16-3-005-1	40,4035	43,4388	40,4128	0,32	
R-16-3-005-2	41,6734	45,1859	41,6836	0,30	
					0,31

### 4.3 Drvna sječka

Laboratorijska analiza započinje prostiranjem drvne sječke na velikoj površini (na podu, foliji, plastici) iz uzorka vreće od 50 L. Nakon toga je potrebno dobro promiješati uzorak kako bi se pripremio prosječan uzorak radi dobivanja što pouzdanijih i točnijih rezultata. Nakon toga se izmiješana drvna sječka dijeli na približno jednaka 4 dijela. Nakon toga slijedi granulometrijska analiza uzorka. Prosječno uzorak se stavlja u posudicu, važe i stavlja u tresilicu vibracijska Retsch AS 400 control podešenu na 2500 okretaja u minuti. Nakon završetka vrtnje, potrebno je izvagati sita zajedno s uzorkom kako bismo dobili masu pojedine sekcije. Uzorak drvne sječke prolazi kroz sita okruglih otvora oka promjera 3,15 mm, 8 mm, 16 mm, 45 mm i 63 mm.

Određivanje udjela vlage drvene sječke se određuje tako da se prvo obavi vaganje uzoraka posuda uzetih sa terena. Vaganje se obavlja digitalnom vagom Kern EMB, a rezultat se iskazuje u gramima. Svaki uzorak drvene sječke ima oznaku. Prije vaganja uzoraka potrebno je izvagati posudu čija je masa najčešće 10g te je istu potrebo oduzeti nakon vaganja uzorka. Nakon vaganja uzoraka drvene sječke, uzorke stavljamo u sušionik Binder FD 115 na neprekidno sušenje na 24 sata na temperaturu od 105°.



Slika 14. Prosušivanje drvene sječke



Slika 15. Priprema uzoraka za sušenje

Nakon obavljenog sušenja, slijedi ponovno vaganje uzoraka zajedno s posudom i određivanje nove posušene mase.

Za postupak usitnjavanja drvene sječke koristi se mlin za drobljenje i usitnjavanje RETCH SM 300. Prije uporabe potrebno ga je dobro očistiti kako bi se uklonili ostatci drvene sječke koja se prethodno obrađuje. Nakon čišćenja, postavlja se sito mlina, a zatim se stavlja sječivo u stroj kao i posuda u koju će se mljeti proizvod. Uređaj se postavlja na 200 okretaja. Iz svih posudica se izvadi uzorak drvene sječke i zatim se dobro pomiješa i podijeli na četvrtine. Na podlogu se stavi jedna četvrtina uzorka. Nakon što mlin završi proces, potrebno je izvaditi uzorak, podijeliti ga na četvrtine i staviti uzorak u plastičnu bočicu koja sa prethodno odabere i označili. Po potrebi se može uzeti i dio druge četvrtine.

Obrada uzoraka se dovršava pomoću sušionika Binder FD 115: pripremi se posudice u koje se stavlja usitnjeni uzorak. Iste se stavljaju u sušionik na sat vremena na temperaturu 105°. Prije

stavljanja u sušionik, potrebno je skinuti poklopac s posudica u kojima se nalazi uzorak na kojem se provodi analiza.

Nakon vađenja posudica iz sušionika, stavlja ih se u eksikator na pola sata. Uzimaju se posudice te ih se važe. Nakon toga se stave u njih dvije žličice (minimum 2 grama) uzorka te se posudice važu (s poklopcem). Posudice sa uzorkom se stave u sušionik (makne se poklopac) i ostavljaju u sušionik na 3 sata. Za vaganje se koristi analitička vaga Mettler Toledo, XA 204 DR.



Slika 16. Priprema uzoraka nakon usitnjavanja



Slika 17. Priprema uzoraka za analizu pepela

Nakon sušenja vade se posudice sa uzorkom, te ih se stavlja u eksikator na pola sata. Na kraju se izvažu masa posudice sa uzorkom, te nakon toga se izračunava vlaga

Sukladno normi HRN EN 14774-3:2010, utvrđen je tehnički maseni udio vode u laboratorijskim uzorcima za određivanje pepela. Za sušenje je korišten sušionik Binder FD 115 na  $105 \pm 2^\circ\text{C}$  sa izmjenom zraka u trajanju od 3 sata, do postizanja konstantne mase. Masa prije sušenja i masa standardno suhих uzoraka utvrđena je mjerenjem analitičkom vagom Mettler Toledo XA 204 s preciznosti očitavanja od 0,1 mg.

#### 4.3.1 Vlaga usitnjene drvne sječke na svježoj osnovi pri analizi pepela

Izražava prisutnu masu vode u odnosu na masu svježeg drva. Ova se mjera koristi u trgovanju ogrjevnim drvom.

$$M = \frac{W_w - W_0}{W_w} * 100$$

Pritom je:

$W_w$  = masa uzorka u svježem stanju

$W_0$  = masa uzorka u standardno suhom stanju

Određivanje vlage se izvršilo pomoću peći za žarenje Nabertherm L9/11 i vage Mettler Toledo XA 204 DR. Na sat vremena stavimo posudice u peć. Nakon žarenja, posudice je potrebno odložiti na pločice 7 minuta. Nakon toga treba ih staviti u eksikator na pola sata, izvaditi iz eksikatora te izvagati posudice.

Usitnjeni uzorak se stavi u posudice i izvaže. Nakon vaganja se stave u peć i pokrene program 4. Zatim treba izvaditi te ostaviti da se hladi 7 minuta na pločice, potom staviti u eksikator na pola sata. Izvaditi i izvagati posudu sa pepelom te odrediti masu pepela

Maseni udio pepela usitnjenih uzoraka utvrđuje se sukladno normi HRN EN 14775:2010. Žarenje uzoraka se obavlja prema normom propisanom načinu žarenja. Postupno povećanje temperature na 250 °C tijekom 30 minuta, zatim održavanje temperature na 250 °C tijekom 60 minuta, te povećanje temperature na 550 ±10 °C i održanje temperature na 550 ± 10 u trajanju od 120 minuta. Nakon žarenja uzorci se hlade u eksikatoru 30 minuta.

#### **4.3.2 Maseni udio vode u drvnoj sječki**

Voda koju sadrži drvo dijeli se na slobodnu i vezanu vodu. Slobodna voda se nalazi u lumenima stanica drveta i obavlja funkciju u transportu otopljenih tvari, a vezana voda se nalazi u stjenkama stanica. Prilikom sušenja drva gubitak slobodne vode uzrokuje promjenu odnosno smanjenje mase drva, a gubitak vezane vode, uz gubitak mase uzrokuje i promjenu dimenzija. Tu se pojavu naziva utezanje.

Sadržaj vode u drvetu može se iskazati masenim udjelom (postotnim odnosom mase vode sadržane u drvu prema masi samog drva) i volumnim udjelom odnosno postotnim odnosom volumena vode sadržane u drvu prema ukupnom volumenu drva.

Nadalje, maseni udio vode se može iskazati standardnim i tehničkim postotkom sadržaja vode. Standardni maseni udio vode u drvu je postotni odnos mase vode sadržane u drvu prema masi drva u standardno suhom stanju, pri sadržaju vode 1 %. Tehnički maseni udio vode u drvu je postotni odnos mase vode sadržane u drvu prema masi svježeg, provrelog i posušenog drva (Vusić i dr., 2014)

Za određivanje sadržaja vode u drvu postoji više vrsta direktnih i indirektnih metoda. Direktnim metodama zajedničko je izdvajanje vode iz drva i određivanje njene mase ili volumena. U direktne metode ubrajamo: gravimetrijska metoda, destilacijska metoda i metoda titracije. Indirektnim metodama, sadržaj vode se procjenjuje na temelju odnosa između određenog fizičkog svojstva i sadržaja vode u tlu. Najvažnija i najčešće korištena metoda je metoda električnih higrometara kojima se sadržaj vode u drvu procjenjuje na temelju otpora odnosno vodljivosti električne struje.



Slika 18. Sušenje uzoraka u sušioniku

Obzirom da se isporuka i obračun vrijednosti drvene sječke u pravilu obavlja uz ugovorom definiran sadržaj vode, bilo kakvo odstupanje od ugovorom dogovorenog, može bitno utjecati na isplativost sustava pridobivanja drva. Zbog navedenog, bitno je poznavati vrijednosti sadržaja vode pojedinih vrsta drveća u trenutku sječe, varijabilnost rasporeda sadržaja vode po dijelovima stabala koji će biti sirovina za proizvodnju energijskog drva te intenzitet procesa prirodnog prosušivanja prosječenog drva.

Tablica 7. Maseni udio vode uzoraka drvene sječke iz višemetarskog drva prema HRN EN ISO 17225-4

Uzorak	Poduzorak	Masa svježe, g	Masa standardno suho, g	Vlaga, %	
16-04-001	1	367,5	218,3	40,59864	40,80
	2	349,6	205,8	41,13272	
	3	400,8	238,1	40,59381	

Tablica 8. Klasifikacija drvene sječke iz višemetarskog drva prema HRN EN ISO 17225-4 prema vlazi

Svojstva klase	Oznaka	A		B	
		1	2	1	2
Udio vode, M	w-%	M10 ≤ 10 M25 ≤ 25	M35 ≤ 35	Navesti maksimalnu vrijednost	

Sadržaj vode u drvnj sječki je najvažnija značajka i za energijsko iskorištavanje drvene sječke kao goriva (Vusić i dr., 2014). Povećanjem sadržaja vode u drvnj sječki bitno je potrošiti što više energije na isparavanje vode, u procesu gorenja. Time snižavamo netto kaloričnu vrijednost goriva. Ista se može iskazati na temelju mase u stanju preuzimanja ili na temelju mase u standardno suhom stanju.

#### 4.3.3 Granulometrijski sastav drvene sječke

Granulometrijski sastav drvene sječke se utvrđuje prosijavanjem drvene sječke kroz niz sita različitih dimenzija, a količina drvene sječke na pojedinom situ iskazuje se masenim udjelom u ukupnoj količini prosijanog uzorka (Kofman, 2006).



Slika 19. Oscilator za utvrđivanje granulometrijskog sastava drvene sječke

Jedan od najvažnijih parametara za učinkovitu pretvorbu drvene sječke u energiju je distribucija veličine čestica drvene sječke. Prilikom prosijavanja drvene sječke dolazi do gubitka drvene tvari zbog razvoja gljiva i bakterija koje razlažu celulozu u drvnoj tvari pri čemu dolazi do oslobađanja topline. Prosušivanje ovisi o dimenzijama drvene sječke jer povećanjem dimenzija se pospješuje prosušivanje i smanjuje se zdravstveni rizik, mogućnost zapaljenja te gubitak kalorične vrijednosti goriva.

Tablica 9. Klasifikacija drvene sječke prema granulometrijskom sastavu prema HRN EN ISO 17225-4

Dimenzije ( mm)					
	Glavna frakcija (min. 75 % masenog udjela)	Fina frakcija (< 3,15 mm), maseni udio (%)	Gruba frakcija, maseni udio (%)	Sve (mm)	Površina presjeka prevelikih čestica, cm <sup>2</sup>
P16S	$3,15 \leq P \leq 16$ mm	$\leq 12$ %	$\leq 6$ % > 31,5	$\leq 45$ mm	Nije određen
P31S	$3,15 \leq P \leq 31,5$ mm	$\leq 8$ %	$\leq 6$ % > 45	$\leq 150$ mm	< 2
P45S	$3,15 \leq P \leq 45$ mm	$\leq 8$ %	$\leq 10$ % > 63	$\leq 200$ mm	< 5

Veličina drvene sječke ovisi o sirovini (vrsti drveća i dijelu stabala iz koje se proizvodi), tipu iverača i pripadajućeg sita te o rasporedu i stanju sječiva (Nati i dr. 2010.). Na kakvoću granulometrijskog sastava može se utjecati izborom iverača te podešavanjem njegovog rada na

optimalan i odgovarajući način. Prisutnost prevelikih čestica može onemogućiti uporabu drvene sječke u malim srednje velikim postrojenjima (Spinelli i dr. 2005).

#### 4.3.4 Maseni udio pepela drvene sječke

Udio pepela u drvnj sječki je masa anorganske tvari koja preostaje nakon spaljivanja uzorka na 550+-10°, a izražava se kao postotak mase suhe tvari uzorka prije spaljivanja.

Udio pepela u gorivu ključan je za izbor odgovarajućih tehnologija spaljivanja i pročišćavanja otpadnih plinova (Picchio i dr. 2012). Nesagoriva komponenta drvene sječke se zadržava kao pepeo na dnu ložišta te tako ometa proces sagorijevanja ili izaziva koroziju grijaćih sklopova i dimovodnih cijevi čime uzrokuje probleme u emisiji otpadnih plinova. Za zbrinjavanje i recikliranje pepela odlučujuća je njegova količina kao i kemijski sastav.

Tablica 10. Maseni udio pepela u uzorcima drvene sječke

Uzorak	Masa posude, g	Masa prije, g	Masa nakon, g	Udio pepela,%	Udio pepela,%
16-04-001-1	39,9822	41,9898	40,0197	1,89	
16-04-001-2	34,4186	36,5616	34,4595	1,93	
16-04-001-3	41,1525	43,1247	41,1906	1,95	1,92

Maseni udio pepela okoranog drva relativno je malen (može iznositi i do 0,5 %). Raste do oko 1,0 % pri spaljivanje drva s korom uz blago povećanje ako se spaljuju i iglice te drastično povećanje na čak 5,0-10,00 %, ako je drvena sječka onečišćena zemljom, pijeskom ili kamenom (Kofman 2006).



Tablica 11. Klasifikacija drvene sječke prema masenom udjelu pepela u uzorcima HRN EN ISO 17225-4

Svojstva klase	Oznaka	A		B	
		1	2	1	2
Udio pepela ;A	w- %	$A1.0 \leq 1,0$	$A1.5 \leq 1,5$	$A3.0 \leq 3,0$	

#### 4.3.5 Nasipna gustoća drvene sječke

Naspina gustoća drvene sječke je odnos određene količine drvene sječke i obujma koji ta količina drvene sječke zauzima. Iskazuje se u kilogramima po naspinom metru svježe drvene sječke u stanju pri preuzimanju ili preračunata u naspinu gustoću standardno suhe drvene sječke, ali bez korekcije za promjenu obujma čestica.

Naspina gustoća ovisi o vrsti drva (gustoći drva ), dijelu stabla iz kojeg se drvena sječka proizvodi , sadržaju vode , ali i o granulometrijskom sastavu i načinu iveranja. Određivanje naspine gustoće je važno za planiranje transportnih i skladišnih kapaciteta.

Tablica 12. Nasipna gustoća drvene sječke prema HRN EN ISO 17225-4

Uzorak	Poduzorak	Bruto masa,kg	Neto masa, kg	Naspina gustoća, kg/m <sup>3</sup>	Naspina gustoća, kg/m <sup>3</sup>
16-04-001	16-04-001-1	31,1	21,7	434,0	
	16-04-001-2	31,9	22,5	450,0	440

#### 4.3.6 Kalorijska vrijednost i energijska gustoća drvene sječke

Najvažnije svojstvo goriva je njegova kalorična ( ogrjevna ) vrijednost. Ona iskazuje količinu topline koja se oslobađa pri izgaranju jedinice količine goriva s kisikom pri potpunom izgaranju pod standardnim uvjetima.

Tablica 13. Sumarne značajke ispitivane drvene sječke

	Maseni udio vode %	Nasipna gustoća, kg/m <sup>3</sup>	Granulometrijski sastav	Udio pepela, %	Neto kalorična vrijednost, MJ/kg
16-04-001	40,8	440 kg/m <sup>3</sup>	fina( <3,15 mm) =13,6 %, glavna frakcije ( 3,15 ≤ P < 45mm= 85,2% grube čestice >63 mm) =0,3% , duge čestice 146 mm	1,92	standardno suho stanje= 18,03 MJ/KG dostavno stanje =9,68 MJ/kg
Razred prema normi HRN EN ISO 17225-1:2014	M45	BD400	P45S;F15	A2.0	

Bruto kalorična vrijednost ili gornja ogrjevna vrijednost je toplina oslobođena pri izgaranju goriva nakon čega se dodatno iskorištava toplina kondenzacije vodene pare iz dimnih plinova, odnosno to je najveća moguća energija koja se može dobiti izgaranjem nekog goriva, a neto kalorična vrijednost ili donja ogrjevna vrijednost je toplina koja je oslobođena procesom izgaranja goriva, bez dodatnog iskorištavanja topline kondenzacije vodene pare (Vusić i dr., 2014).

Proces određivanja bruto kalorične vrijednosti naziva se kalorimetriranje, a obavlja se laboratorijski. Iskazuje se u džulima po gramu (J/g).

Prilikom sagorijevanja u ložištu dio se energije goriva mora potrošiti za isparavanje vode sadržane u gorivu, ali i vode koja nastaje kemijskom reakcijom vodika i kisika prilikom sagorijavanja (Hakikila 1989.). Neto kalorična vrijednost je razlika bruto kalorične vrijednosti goriva i energije potrebe za isparavanje vode.

Energijska gustoća drvene sječke je odnos neto kalorične vrijednosti određene količine drvene sječke i obujma koji ta količina zauzima. Iskazuje se megadžulima po nasipnom metru i kilovatsatima po nasipnom metru.

Tablica 14. Neto kalorična vrijednost za drvenu sječku prema HRN EN ISO 17225-4

Svojstva klase	Oznaka	A		B	
		1	2	1	2
Neto kalorična vrijednost, Q	pri preuzimanju, MJ/kg ili kWh/kg	Navesti minimalnu vrijednost	Navesti minimalnu vrijednost	Navesti minimalnu vrijednost	

#### 4.3.7 Osnovne značajke drvene sječke iz primarne prerade, kore hrasta i kore bukve

U tablici 15 prikazani su podaci istraživanja drvene sječke bez kore (R-16-3-001), koja je proizvedena iveračem Silvator i pohranjena ispod nadstrešnice silosa. Zatim su prikazani podaci masenog udjela vode kore hrasta (R-16-3-002), koja je uzorkovana neposredno nakon strojnog koranja trupaca za daljnju mehaničku preradu na pilani. Uzorak broj R-16-3-003 predstavlja koru bukve obične također od pilanskih trupaca nakon strojnoga koranja.

Tablica 15. Maseni udio vlage drvene sječke iz primarne prerade, kore hrasta i kore bukve

Uzorak	Poduzorak	Masa svježe, g	Masa standardno suho, g	Vlaga, %	Vlaga, Prosječno %
R-16-3-001	1	296,3	177	40,26325	38,2
	2	336,9	213	36,77649	
	3	320	199,7	37,59375	
R-16-3-002	1	208,6	131	37,20038	36,8
	2	266,5	173,9	34,74672	
	3	245,6	151,1	38,4772	
R-16-3-003	1	378	219,2	42,01058	42,3
	2	381,1	215,2	43,53188	
	3	406,3	238,1	41,39798	

U tablici 16 su prikazani podaci o masenom udjelu pepela kod navedenih uzoraka. U drvnoj sječki iz ostataka primarne prerade sadržaj pepela iznosi 2,80 %, kod kore hrasta 8,92 %, a najviše je pepela u kori bukve i iznosi 12,04 %

Tablica 16. Maseni udio pepela drvene sječke iz primarne prerade, kore hrasta i kore bukve

Uzorak	Masa posude, g	Masa prije, g	Masa nakon, g	Udio pepela, %	Udio pepela, %
R-16-3-001-1	40,1058	44,6098	40,2294	2,78	
R-16-3-001-2	32,8153	37,3924	32,9469	2,91	
R-16-3-001-3	40,3995	44,5626	40,5107	2,70	2,80
R-16-3-002-1	40,3997	42,7035	40,5922	8,91	
R-16-3-002-2	32,8160	35,1543	33,0117	8,93	
R-16-3-002-3	40,1054	42,7194	40,3238	8,91	8,92
R-16-3-003-1	40,1102	44,5754	40,6274	12,31	
R-16-3-003-2	34,4246	38,5881	34,8783	11,58	
R-16-3-003-3	39,9827	44,8681	40,5455	12,24	12,04

## 5. Rasprava

Za radove pridobivanja drva, sadržaj vode u drvu ima značajnu ulogu prilikom primarnog i daljinskog transporta. U nedavnoj prošlosti, kada se privlačenje drva obavljalo animalnom snagom, a u prvim danima nakon mehaniziranja radova uvođenjem poljoprivrednih traktora, drvni sortimeniti su makom izrade gotovo u pravilu ostavljani u šumi određeno razdoblje s ciljem prosušivanja, odnosno smanjenja mase. Danas se sadržaj vode u drvu manifestira kao ograničavajući čimbenik pri daljinskom transportu oblog drva. Cestovnim sredstvima daljinskog transporta zakonski je limitirano maksimalno osovinsko opterećenje pa svako povećanje sadržaja vode u drvu uvjetuje smanjenje dopuštenog obujma tovara. Kada se drvnom sječkom trguje na bazi mase uz sadržaj vode definiran ugovorom, svako odstupanje od ugovorom utvrđenog sadržaja vode, odnosno povećanje sadržaja vode, rezultira većim troškovima prijevoza po obračunatoj jedinici (Vusić i Pandur 2010.).

Istraživanjem je utvrđen tehnički maseni udio vode drvene sječke iz višemetarskog drva u iznosu 40,8 % te prema udjelu vode i normi HRN EN ISO 17225-1:2014 pripada M45 razredu. Dobiveni rezultati ukazuju na potrebu za mogućnošću prirodnog prosušivanja sirovine prije iveranja s ciljem postizanja optimalnog udjela vode koji iznosi do 35%.

Nasipna gustoća uzorka drvena sječke, u stanju pri preuzimanju, u iznosi  $440 \text{ kg/m}^3$ . Dobivenim rezultatom istraživanja pripada u razred BD400 prema normi HRN EN ISO 17225.1:2014. Ovaj podatak nam je važan kako bismo planirali proračun površine i troška za prostor skladištenja drvena sječka, bio on otvorenog tipa ili zatvorenog s nadstrešnicom. Obračun troška i kapaciteta također ovisi i o potrebama koogeneracijskog postrojenja.

Granulometrijskom analizom uzorka drvene sječke utvrđen je relativno visok udio fine frakcije ( $<3,15 \text{ mm}$ ) u iznosu 13,6 %, uz zadovoljavajući udio glavne frakcije ( $3,15 \leq P < 45 \text{ mm}$ ) u iznosu 85,2 % uz prisutnost grubih čestica ( $>63 \text{ mm}$ ) 0,3% i uz prisutnost dugih čestica 146 mm. Prema navedenim podacima drvena sječka pripada u razred P45S; F15 prema normi HRN EN ISO 17225-1:2014. Rezultati istraživanja nam ukazuju na nužnost redovitog odražavanja strojeva za usitnjavanje što podrazumijeva zamjene i redovno odražavanje noževa i odabir prikladnih sita. Također, dobiveni podaci mogu poslužiti kao smjernice prilikom ulaganja u nove investicije i tehnologije.

Udio pepela u drvnj sječki istraživanog uzorka iznosi 1,92 %, u standardno suhom stanju. Prema dobivenim rezultatima, pripada u razred A2.0 propisanog normom HRN EN ISO 17225-1:2014. Dobiveni rezultati analize pepela nam mogu poslužiti kao pokazatelji pri planiranju zbrinjavanja pepela iz kogeneracijskog postrojenja. Također, treba raditi na smanjenju udjela pepela jer bi veće vrijednosti mogle prouzročiti onečišćenje okoliša, posebice zemlje prilikom manipulacije pepelom.

Rezultati analize neto kalorične vrijednosti U standardno suho stanje ) iznose 18,03 MJ/KG i neto kalorične vrijednosti ( dostavno stanje ) iznosi 9,68 MJ/kg. Povećanje kalorične vrijednosti je moguće već spomenutim prirodnim prosušivanjem sirovine. Time bi se omogućila proizvodnja iste količine energije manjom količinom sirovine.

## 6. ZAKLJUČAK

Na temelju rezultata istraživanja proizlaze sljedeći zaključci:

- Dimenzija predugačkih čestica ima značajan utjecaj na klasifikaciju drvene sječke prema razredima dimenzija na koju također utječu udio fine, grube i glavne frakcije.
- Prirodnim prosušivanjem sirovine za proizvodnju drvene sječke možemo postići povećanje neto kalorične vrijednosti, odnosno ogrjevnu vrijednost, smanjenje masenog udjela vlage kao i smanjenje potrebne površine za skladištenje drvene sječke. To rezultira racionalizacijom utroška sirovine u kogeneracijskom postrojenju. Također, optimizaciju je moguće postići i miješanjem proizvedene drvene sječke.
- Rezultati granulometrijske analize drvene sječke ukazuju na važnost i nužnost odabira odgovarajuće tehnike za usitnjavanje sirovine, odnosno pravilni odabir stroja, ali i pravilni i redovito odražavanje stroja i noževa te odgovarajući odabir sita. Navedeno rezultira postizanjem ujednačene granulometrijske strukture bez udjela prevelikih čestica.
- Drvna sječka koja je proizvedena iz drvno-industrijskog ostatka iz primarne prerade s obzirom na udio pepela prikladna je samo za korištenje u kogeneracijskom postrojenju. Velik udio pepela može onečistiti okoliš naročito zemlju, prilikom manipulacije ili korištenja u svrhu gnojiva. Korištenje ovakve drvene sječke pri proizvodnji briketa i peleta značajno bi umanjilo kakvoću, a samim time i njihovu vrijednost.
- Spin Valis d.d. bi trebao povećati svoje kapacitete proizvodnje energije kao i proizvodnje peleta i briketa obzirom da rezultati dosadašnje dobro poslovanje kao i uspješnost u izvršenju proizvodnje energije kogeneracijskog postrojenja.
- Pridobivanja šumske biomase se sve više povećava što rezultira povećanje ekonomske, socijalne, gospodarske koristi.
- Istraživani briketi su zadovoljavajuće kakvoće razreda A1, oblika 7, velike mehaničke izdržljivosti.

## 7. LITERATURA

1. Annon., 2007: Velike mogućnosti proizvodnje biomase u hrvatskom šumarstvu. Hrvatske šume 130: 2–6
2. HRN EN 14778:2011 Čvrsta biogoriva – Uzorkovanje
3. HRN EN 15103:2010 Čvrsta biogoriva – Određivanje nasipne gustoće
4. HRN EN 14918:2010 Čvrsta biogoriva – Određivanje kalorijske vrijednosti
5. HRN EN 15210-2:2010 Čvrsta biogoriva – Određivanje mehaničke izdržljivosti peleta i briketa – 2. dio: Briketi
6. HRN EN ISO 18134-2:2015 Čvrsta biogoriva – Određivanje udjela vlage – Metoda sušionika – 2. dio: Ukupna vlaga – Pojednostavljena metoda
7. HRN EN ISO 17225-3:2014 Čvrsta biogoriva – Specifikacije goriva i razredi – 3. dio: Klasifikacija drvnih briketa
8. HRN EN 15149-1:2010 Čvrsta biogoriva – Određivanje granulometrijskoga sastava – 1. dio: Oscilacijsko prosijavanje upotrebom sita promjera 1 mm i više
9. HRN EN ISO 18122:2015 Čvrsta biogoriva – Određivanje udjela pepela
10. HRN EN ISO 18134-3:2015 Čvrsta biogoriva – Određivanje udjela vlage – Metoda sušionika – 3. dio: Vlaga u općem uzorku za analizu
11. Katalog opreme; Župčić, Ivica; Ančić, Mario; Klarić, Miljenko; Miklenčić, Josip; Šapić Irena; Španić, Nikola; Vucelja Marko (ur). Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, 2015.
12. Overview of Forestry, and Wood Fuel Supply Chains, Loibneggar, 2011
13. Priručnik o gorivima iz drvene biomase, Zagreb, 2008., pdf., str. 17–19
14. 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.
15. Zečić, Ž., Tikvić, I., Vusić, D., 2015: Potencijali proizvodnje drvene biomase za energiju u kontinentalnoj Hrvatskoj u odnosu na određene stanišne uvjete i vrste drveća. Hrvatska



akademija znanosti i umjetnosti–Zbornik radova sa znanstvenog skupa »Prizvodnja hrane i šumarstvo–temelj razvoja istočne Hrvatske«, Zagreb, 313–341.

16. McKendry, P., 2002: Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology* 83(1): 37–46.
17. Loibnegger, T., 2011: Smjernice za primjenu normi za goriva iz drvene biomase. Regionalna energetska agencija Sjeverozapadne Hrvatske, (ur.) V. Šegon, Zagreb, Hrvatska, 1–32.
18. Li, Y., Liu, H., 2000: High pressure densification of wood residues to form an upgraded fuel. *Biomass and Bioenergy* 19: 177–186.
19. Kofman, P. D., 2006: Quality wood chip fuel. *Coford Connects, Harvesting/Transport* 6.
20. Nati, C., Spinelli, R., Fabbri, P., 2010: Wood chips size distribution in relation to blade wear and screen use. *Biomass and Bioenergy* 34: 583–587.
21. Spinelli, R., Hartsough, B. R., Magagnotti, N., 2005: Testing Mobile Chippers for Chip Size Distribution. *International Journal of Forest Engineering* 16 (2): 29–35.
22. Spinelli, R., Ivorra, L., Magagnotti, N., Picchi, G., 2011: Performance of a mobile mechanical screen to improve the commercial quality of wood chips for energy. *Bioresources Technology* 102(15): 7366–7370.
23. Zečić Ž., D. Vusić, 2013: Šumski proizvodi. Interna skripta. Sveučilište u Zagrebu Šumarski fakultet, str. 1-248.
24. Zečić, Ž., 2015: Šumska biomasa za energiju – interna skripta, Sveučilište u Zagrebu Šumarski fakultet, str. 1-155.
25. Fabijanec, 2016: Proizvodnja i uporaba čvrstih biogoriva- Studija slučaj Turopolje. Diplomski rad.
26. Jurič, 2014; Varijabilnost udjela pepela u različitim granulometrijskim frakcijama drvene sječke. Diplomski rad.
27. Abaz, J., 2016; Analiza proizvodnih kapaciteta, tržišta i kakvoće čvrstih biogoriva na području županije središnja Bosna ( BIH). Diplomski rad.
28. [www.mingorp.hr](http://www.mingorp.hr)
29. <http://www.drvnipelet.hr/novosti/uniconfort-kogeneracije-su-sve-popularnije-za-proizvodnju-struje-i-za-daljinska-grijanja/>
30. [http://www.obnovljivi.com/pdf/PDF\\_OBNOVLJIVI\\_COM/Cupin-biomasa.pdf](http://www.obnovljivi.com/pdf/PDF_OBNOVLJIVI_COM/Cupin-biomasa.pdf)
31. <http://vin-projekt.hr/hr/obnovljivi-izvori-energije/>

32. <http://www.biomasa.com.hr/>
33. <http://www.tehno-dom.hr/obnovljivi-izvori-energije/energija-biomase>
34. <http://www.spinvalis.hr/>
35. <http://www.energetika-net.com/>
36. [www.hrsume.hr](http://www.hrsume.hr)
37. [www.agroclub.com](http://www.agroclub.com)
38. <http://www.peletgrupa.hr>
39. <http://www.bioheatlocal.com>
40. <http://eur-lex.europa.eu>
41. <http://www.academia.edu>
42. <http://www.hkisdt.hr/>