# Korištenje biljne vrste somine (Juniperus phoenicea L.) u proizvodnji energije

**Milovac, Iva**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2018**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:204:425347

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-03-28**



*Repository / Repozitorij:*

Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb








SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

**AGRONOMSKI FAKULTET**

# KORIŠTENJE BILJNE VRSTE SOMINE (*Juniperus phoenicea* L.) U PROIZVODNJI ENERGIJE

DIPLOMSKI RAD

Iva Milovac

Zagreb, listopad, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

**AGRONOMSKI FAKULTET**

Agroekologija - Agroekologija

# KORIŠTENJE BILJNE VRSTE SOMINE (*Juniperus phoenicea* L.) U PRIZVODNJI ENERGIJE

DIPLOMSKI RAD

Iva Milovac

Mentor: prof. dr. sc. Neven Voća

Zagreb, listopad, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZJAVA STUDENTA
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, Iva Milovac, JMBAG 0178088494, rođena 04. veljače 1993. u Zadru, izjavljujem da sam samostalno izradila diplomski rad pod naslovom:

**KORIŠTENJE BILJNE VRSTE SOMINE (*Juniperus phoenicea* L.) U PROIZVODNJI ENERGIJE**

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedina autorica/jedini autor ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznata/upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____ _____

Potpis studenta / studentice

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

AGRONOMSKI FAKULTET

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studentice **Ive Milovac**, JMBAG 0178088494, naslova

**KORIŠTENJE BILJNE VRSTE SOMINE (*Juniperus phoenicea* L.) U PROIZVODNJI ENERGIJE**

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____ , dana _____ .

| Povjerenstvo: | | | potpisi: |
|---|---|---|---|
| 1. | prof. dr. sc. Neven Voća | mentor | _____ |
| 2. | doc. dr. sc. Vanja Jurišić | član | _____ |
| 3. | doc.dr.sc. Dubravka Dujmović Purgar | član | _____ |

# Zahvala

*Zahvaljujem se Zavodu za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport Agronomskog fakulteta koji je omogućio provođenje svih potrebnih analiza za ovo istraživanje.*

*Zahvaljujem se svim djelatnicima navedenog zavoda na pruženoj pomoći prilikom izrade diplomskog rada.*

*Veliko hvala mojoj obitelji i prijateljima što ste mi bili najveća podrška prilikom studiranja. Bez vas ovo bi bilo puno teže.*

# Sadržaj

1. UVOD ..... 1
1.1 Cilj istraživanja ..... 2
2. PREGLED LITERATURE ..... 3
2.1. Obnovljivi izvori energije ..... 3
2.2. Biomasa kao obnovljivi izvor energije ..... 3
2.3. Piroliza i produkti ..... 5
2.4. Biljna vrsta *Juniperus phoenicea* somina ..... 6
3. MATERIJALI I METODE ..... 10
3.1. Materijali ..... 10
3.2. Metode ..... 10
3.2.1. Priprema uzoraka ..... 11
3.2.3. Sadržaj pepela ..... 12
3.2.4. Sadržaj koksa ..... 13
3.2.5. Fiksirani ugljik ..... 14
3.2.6. Hlapive tvari ..... 14
3.2.7. Celuloza, lignin i hemiceluloza ..... 14
3.2.8. Kalorimetrija – ogrjevna vrijednost ..... 14
3.2.9. Piroliza ..... 16
4. REZULTATI I RASPRAVA ..... 17
5. ZAKLJUČAK ..... 38
6. LITERATURA: ..... 39
7. ŽIVOTOPIS ..... 43

# Sažetak

Diplomskog rada studentice **Ive Milovac** naslova

**KORIŠTENJE BILJNE VRSTE SOMINE (*Juniperus phoenicea* L.) U PROIZVODNJI ENERGIJE**

Problem suvremenog svijeta je sve veća potrošnja energije. Nestašicom neobnovljivih izvora energije sve više se okreće obnovljivim izvorima energije, te se očekuje sve veće iskorištavanje biomase (otpad, ostaci industrije).

Somina *(Juniperus phoenicea*) je zimzeleni grm ili niže stablo, koje raste od 5 do 8 metara. Može se pronaći u području Mediterana, a u Hrvatskoj stvara velike probleme na otoku Pagu koji je poznat po uzgoju ovaca. Naime, navedena vrsta zauzima sve veći prostor za ispašu te uništava ljekovito bilje.

Cilj rada bio je utvrditi energetsku iskoristivost biljne vrste somine nakon mehaničkog uklanjanja iz prirode. Kako bi se provjerila energetska iskoristivost, provedene su sljedeće analize: analiza sadržaja vode, pepela, sadržaj koksa, fiksiranog ugljika, hlapivih tvari te sadržaj celuloze i hemiceluloze kao i gornja ogrjevna vrijednost. Nakon analiza ulaznih sirovina, provela se piroliza uzoraka pri temperaturi od 400 °C, pri čemu se izvagao udio bioulja i biougljena.



**Ključne riječi:** *Juniperus phoenicea* L*, somina, biomasa, obnovljivi izvori energije, energetska iskoristivost*

## Summary

Of the master's thesis - student **Iva Milovac**, entitled

**USE OF THE PLANT SPECIES *Phoenicea juniperus* L. (Arâr) IN ENERGY PRODUCTION**

The problem of the contemporary world is increased energy consumption. Because of the shortage of non-renewable energy sources, people are shifting to renewable energy sources and, therefore, the growing exploitation of biomass is expected (waste, remains of the industry).

Phoenician juniper is an evergreen bush or lower tree reaching from 5 to 10 meters in height. It can be found throughout the Mediterranean region and in Croatia, it creates problems in places such as Pag, which is known for sheep breeding. Phoenician juniper takes up growing places for grazing and it destroys healing herbs.

The goal of this paper was to determine energy utilization od plant species Phoenician juniper after their mechanic removal from nature. Screening of energy usability is made with the following analysis: a content analysis of water, ash, coke, fixed carbon, volatile substances, cellulose and hemicellulose content, and their top calorific value. After the analysis of input raw materials, pyrolysis of samples is made at 400 degrees, and percentage of bio-oil and biofuel is weighted.

**Key words:** *Phoenicea juniperus* L*, biomass, renewable energy, energy utilizatio*

# 1. UVOD

Ključni problem suvremenog svijeta je sve veća potrošnja i potreba za energijom. Korištenje nekih oblika energije dovodi do zagađenja okoliša, čija je posljedica ugrožavanje čovjekova života na zemlji. Sve to dovodi do zaključka da je neophodno uvođenje alternativnih izvora energije kao što je štednja i njeno racionalno korištenje, tj. uvođenje obnovljivih izvora energije: sunce, vjetar, voda i dr.

U današnjem svijetu, učinkovita opskrba energijom i dostupnost energije imaju iznimno mjesto te predstavljaju osnovicu čitave ekonomske aktivnosti između zemalja širom svijeta kroz inovacije i tehnološki napredak (Abaidoo, 2011). U modernom dobu pristup jeftinijoj energiji je neophodan. Nesigurnost dobave energije sve je veća, kao npr. politička nestabilnost između nekoliko država koje proizvode energiju, politička manipulacija oko opskrbe energijom, konkurencija koja se odvija na određenim izvorima energije, kao i prirodne katastrofe, ovisnost neke države o uvozu energenata kao što su plin ili nafta. Sigurnost dobave bi se povećala kada bi se ovisilo o obnovljivim izvorima energije.

Veliki dio energije može se dobiti iz biomase. Biomasa (eng. biomass, njem. Biomasse) je u raznim izvornicima različito definirana, ali kao osnovna odrednica može se navesti prema Uredbi o graničnim vrijednostima emisije onečišćujućih tvari u zrak iz stacionarnih izvora (NN 140/97): „Biomasa je gorivo koje se dobiva od biljaka ili dijelova biljaka kao što su drvo, slama, stabljike žitarica, ljušture itd.“

Biomasa se može podijeliti na drvnu, nedrvnu i životinjski otpad. Unutar čega se mogu razlikovati (Šljivac, 2008):

- drvna biomasa (ostaci iz šumarstva, otpadno drvo)
- drvna uzgojena biomasa (brzorastuće drveće)
- nedrvna uzgojena biomasa (brzorastuće trave i alge)
- ostaci i otpaci iz poljoprivrede
- životinjski otpad i ostaci

Za proizvodnju energije potiče se primjena biomase. Najčešće se koristi drvna masa koja nastaje kao nusproizvod ili otpad te ostaci koji se ne mogu iskoristiti. Takva biomasa se koristi kao gorivo u postrojenjima za proizvodnju električne i toplinske energije ili se prerađuje u plinovita i tekuća goriva za primjenu u kućanstvima i vozilima. S godinama se predviđa sve veći porast i važnija uloga korištenja biomase. Prema predviđanjima 2050. godine očekivana potrošnja energije je od 586 do 837 EJ, a za usporedbu u 1990. godine potrošnja energije u svijetu je iznosila 367,8 EJ (Grubler, 1998).

Socijalno-ekonomska korist od upotrebe biomase u proizvodnji energije je značajan pokretač u ukupnom povećanju udjela u opskrbi energijom. Dva najvažnija pitanja u vezi

korištenja biomase za proizvodnju energije su regionalno zapošljavanje u većini zemalja, te ekonomska dobit.

Održivost bioenergetskih projekata promatrana iz stajališta društva, jest kako su prihvaćeni od društva i kakve koristi od tih aktivnosti imaju različita društva. Najvažniji pokretač tih projekata je zapošljavanje ili otvaranje novih radnih mjesta, doprinos regionalnom gospodarstvu i povećanje dobiti, a dodatne vrijednosti su smanjene emisije ugljika, zaštita okoliša, sigurnost opskrbe energijom (Šegon i sur., 2014).

Somina (*Juniperus phoenicea* L.) je zimzeleni grm ili niže stablo iz porodice čempresa (*Cupressaceae*). Rasprostranjena je na području oko Mediterana (Caudullo i sur., 2016).

Somina (*Juniperus phoenicea* L.) je nastanila veliko područje otoka Paga. S vremenom zauzima sve veću površinu pašnjaka za ispašu ovaca te uništava ljekovito bilje (kadulja) (Vuleta, 2006). Jako teško se iskorjenjuje, gotovo nemoguće sječom ili čupanjem iz korijena. Somina ima neistraženi energetski potencijal kao moguća sirovina u proizvodnji toplinske energije iz biomase.

## 1.1 Cilj istraživanja

Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi mogućnost korištenja biomase biljne vrste somine, nakon njezinog uklanjanja iz prirode sječom ili čišćenjem pašnjaka u svrhu proizvodnje energije.

Ostali ciljevi ovog istraživanja su utvrditi:

- sastav i energetska svojstva somine
- mogućnost upotrebe somine kao sirovine za direktno izgaranje i u proizvodnji toplinske energije
- energetski potencijal somine s ciljem proizvodnje bioulja kao energenata i biougljena kao proizvoda dodane vrijednosti
- utvrditi razlike između uzoraka somina sa pet različitih lokacija otoka Paga.

# 2. PREGLED LITERATURE

## 2.1. Obnovljivi izvori energije

Stalni porast populacije za sobom donosi i veće potrebe za energijom. Trenutno se potrebe za energijom pokrivaju neobnovljivim izvorima energije, fosilnim gorivima kao što su ugljen, nafta i prirodni plin. Fosilna goriva su vrlo štetna za okoliš zbog ispuštanja velikih količina ugljikovog dioksida ($CO_2$), zagađenja okoliša izlijevanjem nafte te zbog izazivanja smoga. Najnegativniji efekt fosilnih goriva je globalno zatopljenje i iz tog razloga čovječanstvo mora zamijeniti neobnovljive izvore energije s obnovljivim izvorima energije.

Obnovljivi izvori energije u hrvatskom Zakonu o energiji (NN 68/2001) definirani su kao „izvori energije koji su sačuvani u prirodi i obnavljaju se u cijelosti ili djelomično, posebno energija vodotoka, vjetra, neakumulirana sunčeva energija, biodizel, biomasa, bioplin, geotermalna energija itd."

Obnovljivi izvori energije su:

- kinetička energija vjetra (energija vjetra)
- sunčeva energija
- biomasa
- toplinska energija Zemljine unutrašnjosti i vrući izvori (geotermalna energija)
- potencijalna energija vodotoka (vodne snage)
- potencijalna energija plime i oseke i morskih valova
- toplinska energija mora (Kerenek, 2016).

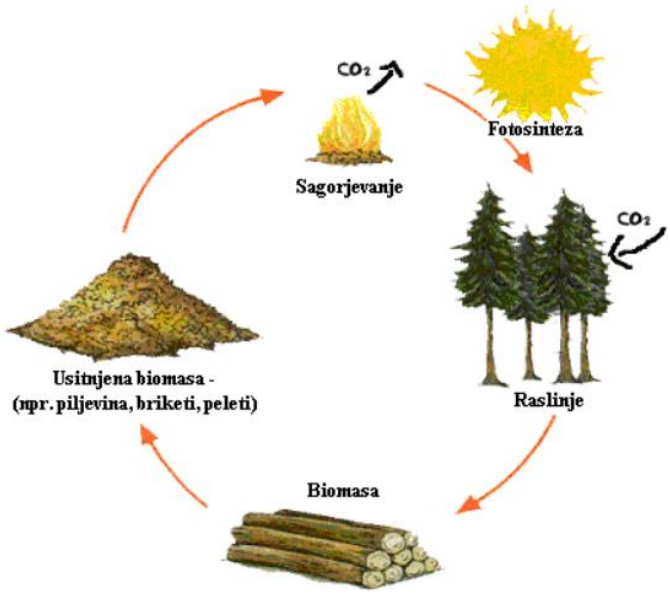
Republika Hrvatska kao članica Europske unije obvezala se na prihvaćanje europskog klimatsko-energetskog paketa koji podrazumijeva i Direktivu 2009/28/EZ o poticanju uporabe energije iz obnovljivih izvora. Prihvaćanjem navedene direktive Republika Hrvatska ima obavezu povećanja obnovljivih izvora energije, pri čemu do 2020. godine mora ostvariti 20% obnovljivih izvora energije u bruto neposrednoj potrošnji (Ministarstvo gospodarstva, 2013).

## 2.2. Biomasa kao obnovljivi izvor energije

Prema direktivi EU i Vijeća Europe broj. 2003/30/EC prema članu 2. biomasa je definirana kao „biorazgradivi dio proizvoda, otpada ili ostataka iz poljoprivrede, šumski otpad i otpad srodnih industrija kao i biorazgradivi dijelovi industrijskog i gradskog otpada". Biomasu čine proizvodi biljnog i životinjskog svijeta, u to se ubrajaju neiskorišteni dijelovi šumarsko–drvne industrije, poljoprivredne proizvodnje, prehrambene industrije, komunalnog otpada organskog porijekla i sl.

Prednosti korištenja biomase kao izvora energije su manja emisija štetnih plinova i otpadnih tvari, korištenje nusproizvoda i otpadnog materijala u prehrambenoj i poljoprivrednoj

proizvodnji. Računa se da je opterećenje atmosfere s $CO_2$ pri korištenju biomase kao goriva zanemarivo, budući da je količina emitiranog $CO_2$ prilikom izgaranja jednaka količini apsorbiranog $CO_2$ tijekom rasta biljaka. Biomasa je dakle $CO_2$ neutralno gorivo kao što je prikazano na Slici 2.2.1.. Izgaranje je najučestaliji način dobivanja energije iz biomase.




Slika 2.2.1. Neutralnost $CO_2$
(Šljivac, 2008)

Šljivac i Šimić (2009) navode svojstva biomase kao potencijalnog izvora energije. Obnovljiv izvor je onaj čiji se prosječni dotok svake godine ponavlja, bez smanjenja - za ljudsko poimanje vremena, odnosno nekonvencionalni izvori su obnovljivi. Izvori za geotermalnu energiju su procesi u zemljinoj nutrini te se smatra da će oni trajati zauvijek (Šljivac i sur., 2009).

Poželjno svojstvo nekonvencionalnih izvora je jako veliki potencijal. Biomasa predstavlja veliki potencijal energije, ali je on znatno manji u odnosu na zračenje sunčeve energije. Geotermalna energija i male hidroelektrane imaju ograničen potencijal energije. Prekriveni potencijal geotermalne energije je velik, potrebno je koristiti toplinu Zemljine unutrašnjosti s velikih dubina (Šljivac i sur., 2009).

Prilikom pridobivanja izvornog oblika energije nema utroška energije u većini nekonvencionalnih izvora energije, te nema utruška energije za transport izvornog oblika, jer u pravilu transport nije moguć. Utrošci energije javljaju se isključivo kod ogrjevnog drveta, biomase i otpada (Šljivac i sur., 2009).

Opterećenje okoliša bukom ili emisijom štetnih tvari na mjestu pretvorbe nekonvencionalnog oblika energije u iskoristiviji oblik je maleno ili ga nema. Korištenje vjetra izaziva buku, a izgaranje biomase emisiju plinova, ali manje od konvencionalnih jer nema

sumpora kao kod ugljena i nafte. Emisija kod korištenja otpada može biti štetna ako se prethodno ne izdvoje štetni sastojci (Šljivac i sur., 2009).

Kumulativnu $CO_2$ neutralnost promatramo u ukupnom lancu – od pridobivanja energije, izrade i montaže pogonskih uređaja, do korištenja i zbrinjavanja nakon korištenja. Ako je godišnje iskorištenje mase jednako ili manje od godišnjeg prirasta nove mase, tada će emisija $CO_2$ pri korištenju te biomase biti jednaka imisiji $CO_2$ prilikom fotosinteze biomase (Šljivac i sur., 2009).

Površinska distribucija ili raspodjela Sunčeva zračenja po Zemlji je najpravednije raspoređen oblik energije od ostalih primarnih oblika energije, a slijede ga biomasa i otpad. Ostali nekonvencionalni oblici nisu ravnomjerno raspoređeni (Šljivac i sur., 2009).

Nekonvencionalni oblici energije ne mogu se skladištiti u svom izvornom obliku. Troše se na mjestu i ritmu nastanka. Ogrijevno drvo, otpad te biomasa se mogu transportirati na razumno i ekonomski opravdanu udaljenost, te ih je nemoguće skladištiti (Šljivac i sur., 2009).

Postoje velike oscilacije prirodnog dotoka kod nekonvencionalnih oblika energije, ako izuzmemo geotermalnu energiju koja ravnomjerno dotiče iz svog izvora. Vjetar ima oscilaciju od nula do preko sto posto, jer za vrijeme olujnog ili premalog vjetra obustavlja se korištenje vjetrogeneratora (Šljivac i sur., 2009).

## 2.3. Piroliza i produkti

Piroliza je termokemijski postupak razlaganja biomase, koji se odvija bez prisustva kisika na temperaturi od 300 do 1.400 °C. Produkti pirolize javljaju se u tri agregatna stanja: plinovitom, tekućem i krutom. Mijenja se kemijski sastav, te je proces nepovratan. Velike molekule se razgrađuju na manje, kao npr. metan koji se raspada na vodik i ugljik na visokim temperaturama (1300 – 1400 °C), a drugi alkalni plinovi se razgrađuju na manjim temperaturama (400 – 600 °C). Plinovi se dijele na hlapljive i nehlapljive plinove. Naglim hlađenjem hlapljivi plinovi se pretvaraju u tekuću fazu, bioulje, dok je kruti produkt pirolize biougljen.

Bioulje je najznačajniji produkt pirolitičkog razlaganja biomase. Ono je vrlo bogato kisikom sa sadržajem vode 15-30 %, te je tamno smeđe boje. Bioulje je sastavljeno od stotina različitih kemijskih komponenti, kao što su octena kiselina, metanol, ketoni i aldehidi, alkil-metoksi-fenoli, alil-fenoli, šećerne te komponente izvedenice lignina (Mohan i sur. 2006). Bioulje ima nisku pH vrijednost od 2 do 4 te može biti vrlo korozivno.

Bioulje se koristi za dobivanje električne i toplinske energije, izgaranje u bojlerima, u proizvodnji kemikalija, sintetskog plina te transportnog goriva. Plinovita komponeneta – sastoji se od CO, $CO_2$ i $CH_4$. U manjem sadržaju su prisutni etan, propan, propiletan, butan, buten i dr. Usporedbom plina dobivenim procesom gasifikacije, pirolitički plin ima veću toplisku vrijednost i može se koristiti kao gorivo za izgaranje u plinskim turbinama u industrijske svrhe i kao gorivo

u domaćinstvu. Biougljen (koks) se koristi kao čvrsto gorivo u bojlerima, samostalno ili u mješavini s biomasom, u gasifikacijskim procesima za dobivanje plina bogatog vodikom koji se koristi u termičkom cijepanju.

Sam tijek pirolize može biti spor ili brz. Spora piroliza je posljedica sporog zagrijavanja biomase, brzinom 5-7 °C/min pri temperaturi procesa od 300 °C do 650 °C. Produkti su biougljen i bioulje te rezidualni plinovi.

Brza piroliza je visokotemperaturni proces pri kome se biomasa zagrijava velikom brzinom, oko 300 °C/min u odsustvu kisika. Proizvodi brze pirolize su plinovita faza i aerosol u velikoj količini te koks u neznatoj količini.

## 2.4. Biljna vrsta *Juniperus phoenicea* somina

CARSTVO: Plantae
RED: Pinales
PORODICA: *Cupressaceae*
ROD: *Juniperus*
VRSTA: *Juniperus phoenicea*

Morfologija

Primorska somina, fenička borovica ili gluhač (*Juniperus phoenicea*) je zimzeleni grm ili stablo iz porodice čempresa (*Cupressaceae*), koje naraste od 5 do 8 metara tvoreći brojne tanke i horizontalne grane, promjera 1 do 2 milimetra (Caudullo i sur., 2016). Krošnja joj je okruglasta, gusta, a kora debla je tamnosmeđa. Forma grma razvija se od tla, dok je grananje monopodijalno. Krošnja je gusta te se širi u nepravilni oblik, uz uzlazne i često nepravilne grane. Na mladim biljkama listovi su svjetlozeleni, glatki i igličasti u početku, kasnije ljuskasti, dugački do 6 mm. Listovi su smješteni u nasuprotnim parovima ili po troje u pršljenu. Somina može biti jednodomna vrsta, no u pravilu je dvodomna, što znači da razlikujemo muške i ženske biljke. Muški cvjetovi su svijetlo smeđi i jajasti češeri dugi oko 5-7mm, na kratkoj stapci, imaju 10 do 14 prašnika. Ženski cvjetovi u početku su uspravni, zeleni, kasnije povijeni prema dolje, smješteni na kratkim stapkama te su građeni od 4 do 6 sjemenskih ljusaka od kojih svaki nosi jedan sjemeni zametak. Oprašivanje je pod utjecajem vjetra (Caudullo i sur., 2016). Cvate od veljače do travnja. Plod čine sjajni, crvenskastosmeđi, okruglasti češerići veličine 0,5 - 1,55 cm koji se nalaze na kratkoj peteljci. Plod je sastavljen od više plodnih listića te sadrži 4 - 9 ovalnih, ušiljenih sjemenki dužine 6 -7 mm. Dozrijeva druge godine nakon cvatnje. Plod nije otrovan, ali se ne koristi u prehrani (www.plantea.com).

Somina je pronađena diljem Mediteranskog područja od Italije, Egipta i Turske te i na atlanskim obalama Maroka i Portugala. Uglavnom raste na nižim nadmorskim visinama u razini

mora, ali dosegne i do 2.400 metara nadmorske visine na jugu gorja Atlas u Africi (Maroko) i planinskog lanca Asir (Saudijska Arabija) (Slika 2.4.1.) (Caudullo i sur., 2016).




Slika 2.4.1. Prikaz rasprostranjenostibiljne vrste somine (*Juniperus phoenicea*)
(Caudullo i sur., 2016)

Stanište

Somina je kserofilna biljka koja preferira vruću, sušnu klimu s puno svjetlosti. Somina raste na stjenovitom ili pješčanom tlu, na kamenjarskim mjestima, suhom i siromašnom te neplodnom tlu, u makiji i kamenjarskim pašnjacima (Slika 2.4.2.). Ova biljna vrsta preferira vapnenačka tla, ali također raste i na silikatu. Ova vrsta borovice obično pripada vegetaciji makije i gariga. Somina je prisutna prvenstveno na obalnom području ali može se naći i u kopnenim stijenama te planinskim područjima. Na obalnim stijenama biljke su izložene valovima, vjetru i zimskim olujama koje slijede ljetne suše. Iz tog razloga razvija se kao niski grm, koji je oblikovan vjetrom. Podnosi poslicu i buru te joj nisu potrebne velike količine kiše (do 200 mm godišnjih padalina) (Caudullo i sur., 2016).



Slika 2.4.2. Somina (*Juniperus phoenicea*)

Rasprostranjenost u RH

Rasprostranjenost somine u Hrvatskoj je duž Jadranske obale, te većim djelom na otocima (slika 2.4.3.). Somina na otocima stvara velike probleme zaraštavajući površine plodnog tla, te pašnjake. Na istraživanom području otoka Paga početkom 80 -ih godina somina se širi velikom brzinom uništavajući otočno samoniklo bilje. Zbog somine nestaje kadulja, smilje, majčina dušica i ostale ljekovite biljke važne za život Pažana, paških ovaca i pčela (Vuleta, 2006).



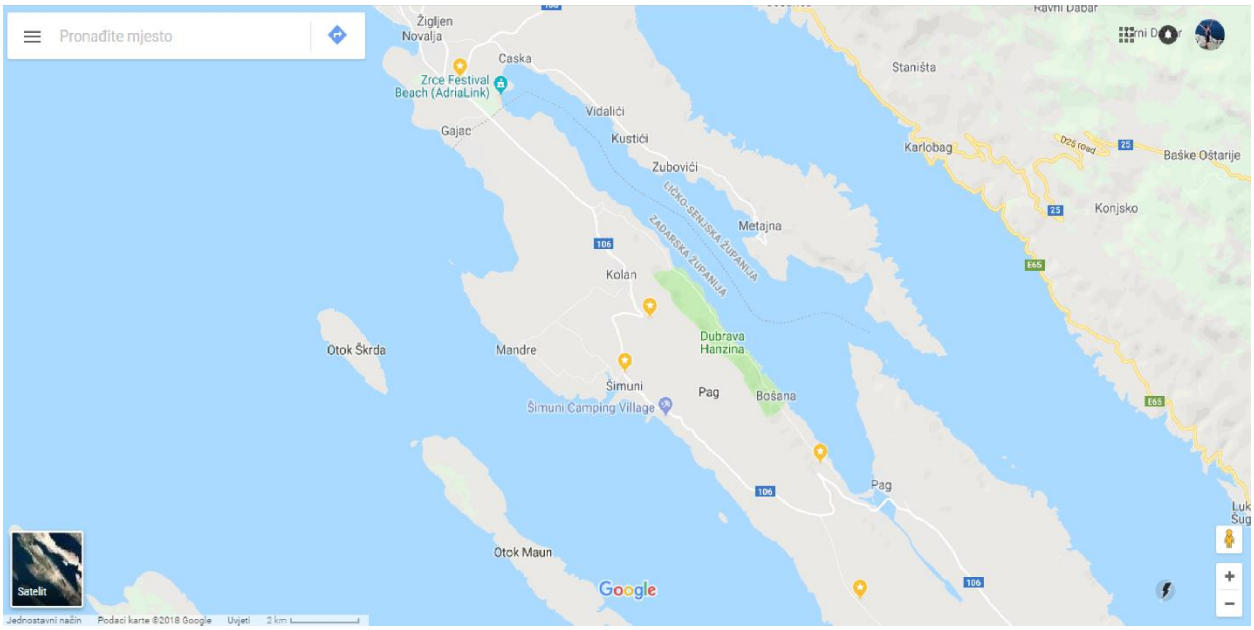
Slika 2.4.3. Rasprostranjenost somine (*Juniperus phoenicea*) u Hrvatskoj
(Nikolić, 2018)

# 3. MATERIJALI I METODE

## 3.1. Materijali

U ovom radu provedeno je istraživanje biomase i energetske iskoristivosti somine s pet lokacija otoka Paga koje su prikazane na slici 3.1.1.

| | Širina | Dužina |
|---|---|---|
| Lokacija 1. | 44.4481 | 15.0330 |
| Lokacija 2. | 44.4140 | 15.0475 |
| Lokacija 3. | 44.4708 | 14,9606 |
| Lokacija 4. | 44,4844 | 14,9698 |
| Lokacija 5. | 44,4844 | 14.9695 |




Slika 3.1.1. Lokacije uzoraka

## 3.2. Metode

Analize su provedene na Sveučilištu u Zagrebu Agronomskom fakultetu, u laboratoriju Zavoda za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport. Nakon prikupljanja i sušenja uzoraka, oni su usitnjeni u laboratorijskom mlinu za daljnje analize.

## 3.2.1. Priprema uzoraka

Uzorci somine prikupljeni su 31. ožujka 2017 godine. Prije mljevenja u laboratorijskom mlinu do željene veličine čestica (IKA Analysentechnik GmbH, Njemačka) biomasa je osušena prirodnim putem. Na slici 3.2.1.1. nalazi se postupak usitnjavanja biomase, dok je način skladištenja uzoraka nakon usitnjavanja vidljiv na slici 3.2.1.2.




Slika 3.2.1.1. Usitnjavanje uzoraka




Slika 3.2.1.2. Skladištenje usitnjenih i označenih uzoraka

### 3.2.2. Sadržaj vode

Određivanje sadržaja vode provodi se u laboratorijskom sušioniku prikazanom na slici 3.2.2.1 (INKO, Zagreb, 2004) na temperaturi od 105 °C, tijekom 4 sata (prema standardnoj metodi (CEN/TS 14774-2:2009)). Određuje se početna vlaga u svježem uzorku i u sušenom uzorku. Nakon vaganja staklenih posudica odvaže se 2,5 grama svježeg uzorka. Posudice u sušioniku su otvorene. Isti postupak ponavlja se i sa sušenim uzorkom. Nakon sušenja posudice se stavljaju u eksikator da se ohlade te potom izvažu. Sadržaj vode određuje se na temelju mase posudice prije i nakon sušenja uzoraka.



Slika 3.2.2.1. Laboratorijski sušionik INKO

### 3.2.3. Sadržaj pepela

Za određivanje sadržaja pepela potrebno je u porculanski lončić odvagati oko 1 g uzorka. Nakon odvage lončići se stavljaju u mufolnu peć prikazanu na slici 3.2.3.1. (Nabertherm Controller B170, Njemačka), na temperaturu od 550 °C +- 10 °C tijekom 4 sata ili do konstantne mase. Posudice se stavljaju u eksikator na hlađenje i potom važu na analitičkoj vagi. Određivanje sadržaja pepela se provodi prema standardnoj metodi CEN/TS 14775:2009. Pepeo je anorganski dio goriva koji ostaje nakon potpunog izgaranja.




Slika 3.2.3.1. Mufolna peć (Nabertherm Controller B170, Njemačka)

## 3.2.4. Sadržaj koksa

Sadržaj koksa određuje se standardnom metodom CEN/TS 15148:2009. Koristi se mufolna peć (Nabertherm Controller B170, Njemačka), koja se zagrije na temperaturu od 900 °C ± 10 °C . U posudice se odvaže oko 1 g uzorka. Porculanski lončići s uzorkom stave se u mufolnu peć, na 4 min. Lončići u mufolnoj peći za vrijeme spaljivanja su poklopljeni. Slika 3.2.4.1. prikazuje uzorak nakon spaljivanja. Uzorak se hladi te važe na analitičkoj vagi.



Slika 3.2.4.1. Koks nakon spaljivanja u mufolnoj peći

### 3.2.5. Fiksirani ugljik

Isparavanjem hlapivih komponenti ostaje kruta frakcija, odnosno fiksirani ugljik (Cfix). Fiksirani ugljik se izgaranjem oslobađa kao dim i čađa. Povećanjem fiksiranog ugljika povećava se i ogrjevna vrijednost. Fiksirani ugljik određuje se računski tako da se od udjela koksa oduzme udio pepela.

### 3.2.6. Hlapive tvari

Standardnom metodom (CEN/TS 15148:2009) određujemo sadržaj hlapivih tvari u biomasi. Hlapive tvari, izgaranjem ne daju toplinsku energiju. Biomasa ima vrlo visok sadržaj hlapivih tvari, s vrijednostima koje se kreću oko 80 %, dok klasični ugljen sadrži tek oko 20 % hlapivih tvari. Točnije vrijednosti hlapivih tvari kreću se od oko 75 %, do 90 % ovisno o uzorku (Khan i sur., 2009). Udio hlapivih tvari izračunava se tako da se od udjela gorivih tvari oduzme udio fiksiranog ugljika.

### 3.2.7. Celuloza, lignin i hemiceluloza

Određivanje udjela celuloze, lignina i hemiceluloze provodi se modificiranom standardnom metodom (ISO 5351-1:2002) na Sveučilištu u Zagrebu Šumarskom fakultetu. Nakon izolacije ekstraktnih tvari u uzorku s otapalom iz navedene metode, određuje se sadržaj celuloze i lignina. Sadržaj hemiceluloze se određuje računski, na način da se udio lignina oduzme od udjela celuloze.

### 3.2.8. Kalorimetrija – ogrjevna vrijednost

Kalorimetrija je eksperimentalni postupak za određivanje gornje ogrjevne vrijednosti (eng. higher heating value, HHV). U adijabatskom kalorimetru (slika 3.2.8.1.) (IKA C200 Analysentechnik GmbH, Njemačka), standardnom metodom ISO (HRN EN 14918:2010) određena je gornja ogrjevna vrijednost.




Slika 3.2.8.1. Adijabatski kalorimetar (IKA C200 Analysentechnik GmbH, Njemačka)

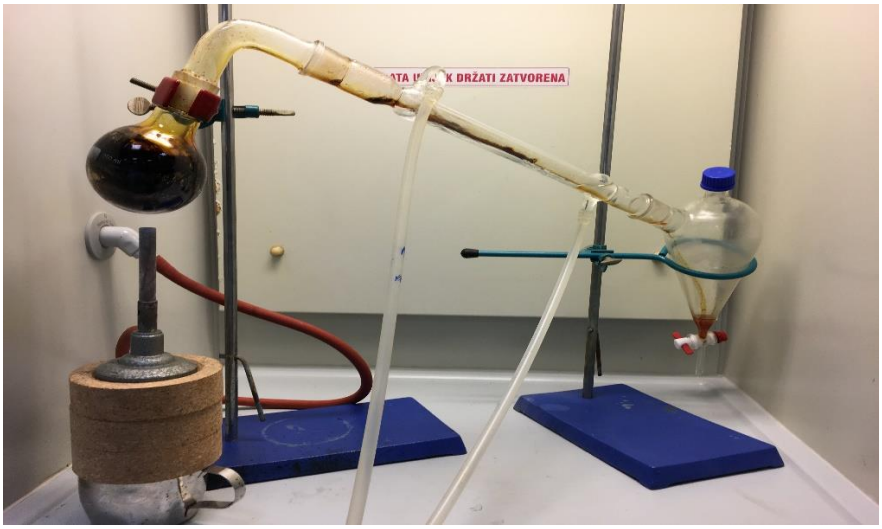
U kvarcnu posudu odvagano je 0,5 g uzorka na analitičkoj vagi prikazanoj na slici 3.2.8.2, a zatim je uzorak spaljen u kalorimetru u kontroliranim uvjetima. Optimalna temperatura za spaljivanje uzorka je od 21 °C do 25 °C. Korištenjem programa IKA C200 dobivena je gornja ogrjevna vrijednost.




Slika 3.2.8.2. Vaganje uzoraka za kalorimetriju na anlitičkoj vagi

### 3.2.9. Piroliza

U tikvicu s okruglim dnom odvaže se 20 g uzorka nakon čega se sustav zatvara te započinje proces pirolize, u trajanju od otprilike 2 sata. Udjeli biougljena i bioulja (slika 3.2.9.1.) su utvrđeni odvagom na analitičkoj vagi, dok je udio rezidualnih plinova određen računski.




Slika 3.2.9.1. Piroliza

## 3.3. Statistička analiza

Nakon provedenih analiza uzoraka, provedena je analiza varijance ANOVA (5%) i LSD test. Analiza varijance (ANOVA) je usporedba dva i više od dva prosjeka. Test najmanje značajne razlike - LSD test je najmanja razlika koja mora postojati između dvije prosječne vrijednosti da bi ih se smjelo proglasiti značajno različitima, tj. odbaciti H0 o njihovoj razlici.

# 4. REZULTATI I RASPRAVA

Da bi određena vrsta biomase postala potencijalni izvor energije u obliku biomase, moraju se odrediti gorive i negorive komponente biomase, tj. parametri koji utječu na enrgetsku iskoristivost. Kvalitetna energetska sirovina treba imati nizak sadržaj vode; nizak sadržaj pepela; nizak sadržaj fiksiranog ugljika; visoku ogrjevnu vrijednost te visok sadržaj koksa (Kontek, 2016).

Raspon sadržaja vode u analiziranom svježem uzorku somine kreće se od najmanje vrijednosti 37,30 % (uzorci s lokacije 1) pa sve do 43,46 % (uzorci s lokacije 2).

Voda se u gorivu nalazi kao negorivi sastojak i ima izravan učinak na ogrjevnu vrijednost biomase zbog količine topline koja se troši na njeno isparavanje (Francescato i sur. 2008.). Za sušenu sirovinu očekivana vrijednost sadržaja vlage varira oko niskih 10 % u sirovini za biomasu. Očekivana vrijednost sadržaja vlage za svježi usjev iznosi i do visokih 50 %. (Yao i sur., 2005). Biomasa s razinom vlage nižom od 50 % učinkovito se koristi prilikom izgaranja. (Parmachat i Kouprianov, 2004.). Jedan od najvažnijih promatranih parametara kod uzoraka jest sadržaj vode, jer o njemu ovisi kojom će se metodom sirovina provesti do energije, tj. goriva. Također koliko će se energije potrošiti isparavanjem vode iz biomase, odnosno o njoj ovisi razlika između ogrjevnih vrijednosti (Ross, 2008). Uzevši u obzir izgaranje biomase, prema Ross i sur. (2008.) optimalni sadržaj vode kreće se između 10 % i 15 %.

U tablici 4.1 prikazana je statistička analiza sadržaja vode u svježim uzorcima istraživane kulture.

Tablica 4.1. Statistička analiza sadržaja vode u svježim uzorcima

| **ANOVA** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| SADRŽAJ VODE | | | | | |
| | SS | df | MS | F | p |
| Između | 1,096 | 4 | 0,274 | 21,797 | 0,000 |
| Unutar | 0,126 | 10 | 0,013 | | |
| Ukupno | 1,222 | 14 | | | |

Sukladno dobivenim rezultatima može se odbaciti nulta hipoteza H0 na razini značajnosti od 5 %. Dakle, postoji statistički značajna razlika sadržaja vode između uzoraka s različitih lokacija. Post hoc LSD testom utvrđeno je na kojim se točno lokacijama javljaju statistički značajne razlike u sadržaju vode kao što je vidljivo iz tablice 4.2.

Tablica 4.2. LSD post hoc sadržaja vode u uzorku

| **Usporedba lokacija** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Zavisna varijabla: VODA | | | | | | |
| LSD | | | | | | |
| | | Razlika srednjih vrijednosti (I-J) | Std. Greška | p | 95% interval pouzdanosti | |
| | | | | | Donja granica | Gornja granica |
| (I) lokacija | (J) lokacija | | | | | |
| 1,00 | 2,00 | -,7550967* | ,0915620 | ,000 | -,959109 | -,551084 |
| | 3,00 | -,5890300* | ,0915620 | ,000 | -,793043 | -,385017 |
| | 4,00 | -,6124300* | ,0915620 | ,000 | -,816443 | -,408417 |
| | 5,00 | -,2944967* | ,0915620 | ,009 | -,498509 | -,090484 |
| 2,00 | 1,00 | ,7550967* | ,0915620 | ,000 | ,551084 | ,959109 |
| | 3,00 | ,1660667 | ,0915620 | ,100 | -,037946 | ,370079 |
| | 4,00 | ,1426667 | ,0915620 | ,150 | -,061346 | ,346679 |
| | 5,00 | ,4606000* | ,0915620 | ,001 | ,256587 | ,664613 |
| 3,00 | 1,00 | ,5890300* | ,0915620 | ,000 | ,385017 | ,793043 |
| | 2,00 | -,1660667 | ,0915620 | ,100 | -,370079 | ,037946 |
| | 4,00 | -,0234000 | ,0915620 | ,803 | -,227413 | ,180613 |
| | 5,00 | ,2945333* | ,0915620 | ,009 | ,090521 | ,498546 |
| 4,00 | 1,00 | ,6124300* | ,0915620 | ,000 | ,408417 | ,816443 |
| | 2,00 | -,1426667 | ,0915620 | ,150 | -,346679 | ,061346 |
| | 3,00 | ,0234000 | ,0915620 | ,803 | -,180613 | ,227413 |
| | 5,00 | ,3179333* | ,0915620 | ,006 | ,113921 | ,521946 |
| 5,00 | 1,00 | ,2944967* | ,0915620 | ,009 | ,090484 | ,498509 |
| | 2,00 | -,4606000* | ,0915620 | ,001 | -,664613 | -,256587 |
| | 3,00 | -,2945333* | ,0915620 | ,009 | -,498546 | -,090521 |
| | 4,00 | -,3179333* | ,0915620 | ,006 | -,521946 | -,113921 |

U tablici 4.2 prikazani su rezultati na razini značajnosti od 5 % te se javljaju statistički značajne razlike u sadržaju vode redom između lokacija: L1-L2, L1-L3, L1-L4, L1-L5, L2-L5, L3-L5, L4-L5, gdje je prosjek L1 (37,3 %) značajno manji u usporedbi sa ostalim lokacijama. Uzorci lokacije 1 nalaze se u blizini kuća na izlazu iz grada Paga. Lokacija ima manji utjecaj na sadržaj vode u uzorcima.

U tablici 4.3 prikazana je statistička analiza sadržaja pepela u uzorcima istraživane kulture.

Tablica 4.3. Statistička analiza sadržaja pepela u svježim uzorcima somine (*Juniperus phoenicea*)

| **ANOVA** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| SADRŽAJ PEPELA | | | | | |
| | SS | df | MS | F | P |
| Između | 0,285 | 4 | 0,071 | 1,419 | 0,297 |
| Unutar | 0,501 | 10 | 0,050 | | |
| Ukupno | 0,786 | 14 | | | |

Potpunim izgaranjem biomase, nastaje anorganski dio goriva odnosno pepeo. Postotak pepela može se razlikovati ovisno o vrsti goriva, pa tako varira od 1 % u drvu do 40 % u nekim vrstama poljoprivrednog otpada. U procesu izgaranja uslijed djelovanja velike temperature pepeo se može rastopiti i proizvoditi naslage na peći (Garcia i sur., 2012).

Sadržaj pepela uvelike utječe na iskoristivost biomase. Poželjno je da količina pepela u sirovini nije velika. Obzirom da količina pepela u sirovini i količina gorivih tvari su obrnuto proporcionalne veličine te se povećanjem količine pepela smanjuje količina gorivih tvari (Sluiter i sur., 2005).

U tablici 4.3 prikazana je statistička analiza sadržaja pepela u uzorcima somine. Sukladno dobivenim rezultatima može se zaključiti da se nulta hipoteza H0 ne može odbaciti na razini značajnosti od 5 %. Dakle, ne postoji statistički značajna razlika sadržaja pepela između uzoraka s različitih lokacija pa nema potrebe za provedbu post hoc testova.

U uzorcima koštica trešnje i višnje sadržaj pepela kretao se u vrijednostima od 0,88 do 1,10 % (Jurišić i sur., 2016), što je puno manji sadržaj pepela u odnosu na sominu. U uzorcima slame žitarice Grubor i sur. (2015) utvrdili su sadržaj pepela od 2,54 % do 9,04 %. Sadržaj pepela u uzorcima somine varira od 4,54 % do 5, 63 % što je u općim granicama vrijednosti biomase (4,71 % - 7,29 %) te ga to čini poželjnim za izravno izgaranje.

U tablici 4.4 prikazana je statistička analiza sadržaja koksa u uzorcima istraživane kulture.

Tablica 4.4. Statistička analiza sadržaja koksa u svježim uzorcima

| **ANOVA** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| SADRŽAJ KOKSA | | | | | |
| | SS | df | MS | F | p |
| Između | 0,004 | 4 | 0,001 | 5,470 | 0,013 |
| Unutar | 0,002 | 10 | 0,000 | | |
| Ukupno | 0,006 | 14 | | | |

Analiza koksa predstavlja proces u kojem na vrlo visokoj temperaturi dolazi do izgaranja gorivih, odnosno hlapivih tvari te zaostaje koks. Sadržaj koksa je poželjno svojstvo sirovine (Boboulos, 2010). Koks predstavlja sekundarni ugljen koji nastaje pri višim temperaturama, dok fiksirani ugljik predstavlja primarni ugljen nastao na nižim temperaturama (Mohan i sur., 2006).

U tablici 4.5 prikazana je statistička analiza sadržaja koksa u uzorcima somine. Sukladno dobivenim rezultatima može se odbaciti nulta hipoteza H0 na razini značajnosti od 5 %. Dakle, postoji statistički značajna razlika sadržaja koksa između uzoraka s različitih lokacija. Post hoc LSD testom utvrđeno je na kojim se točno lokacijama javljaju statistički značajne razlike u sadržaju koksa, kao što je vidljivo iz tablice 4.5.

Tablica 4.5. LSD post hoc test sadržaja koksa

| **Usporeba lokacija** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Zavisna varijabla: KOKS | | | | | | |
| LSD | | | | | | |
| | | Razlika srednjih vrijednosti (I-J) | Std. greška | p | 95% interval pouzdanosti | |
| | | | | | Donja granica | Gornja granica |
| (I) lokacija | (J) lokacija | | | | | |
| 1,00 | 2,00 | -,0353000* | ,0113507 | ,011 | -,060591 | -,010009 |
| | 3,00 | ,0066000 | ,0113507 | ,574 | -,018691 | ,031891 |
| | 4,00 | ,0096000 | ,0113507 | ,417 | -,015691 | ,034891 |
| | 5,00 | -,0169667 | ,0113507 | ,166 | -,042258 | ,008324 |
| 2,00 | 1,00 | ,0353000* | ,0113507 | ,011 | ,010009 | ,060591 |
| | 3,00 | ,0419000* | ,0113507 | ,004 | ,016609 | ,067191 |
| | 4,00 | ,0449000* | ,0113507 | ,003 | ,019609 | ,070191 |
| | 5,00 | ,0183333 | ,0113507 | ,137 | -,006958 | ,043624 |
| 3,00 | 1,00 | -,0066000 | ,0113507 | ,574 | -,031891 | ,018691 |
| | 2,00 | -,0419000* | ,0113507 | ,004 | -,067191 | -,016609 |
| | 4,00 | ,0030000 | ,0113507 | ,797 | -,022291 | ,028291 |
| | 5,00 | -,0235667 | ,0113507 | ,065 | -,048858 | ,001724 |
| 4,00 | 1,00 | -,0096000 | ,0113507 | ,417 | -,034891 | ,015691 |
| | 2,00 | -,0449000* | ,0113507 | ,003 | -,070191 | -,019609 |
| | 3,00 | -,0030000 | ,0113507 | ,797 | -,028291 | ,022291 |
| | 5,00 | -,0265667* | ,0113507 | ,041 | -,051858 | -,001276 |
| 5,00 | 1,00 | ,0169667 | ,0113507 | ,166 | -,008324 | ,042258 |
| | 2,00 | -,0183333 | ,0113507 | ,137 | -,043624 | ,006958 |
| | 3,00 | ,0235667 | ,0113507 | ,065 | -,001724 | ,048858 |
| | 4,00 | ,0265667* | ,0113507 | ,041 | ,001276 | ,051858 |

U tablici 4.5 može se vidjeti da se na razini značajnosti od 5 %, statistički značajne razlike u sadržaju koksa javljaju redom između lokacija: L1-L2, L2-L3, L2-L4, L4-L5. U ovom istraživanju vidljivo je da se sadržaj koksa u uzorcima somine kretao od 13,20 % do 16,55 % na lokaciji 2.

Za travu Miscanthus Baček i sur. (2012) dobivaju vrijednosti sadržaja koksa u iznosu od 17,5 %. Jurišić i sur., (2016) navode da se sadržaj koksa u analiziranim uzorcima koštica trešnje i višnje, kretao oko 16 %, što je približan rezultat sadržaja koksa kao i kod uzoraka istraživanih u ovom radu.

S obzirom da somina ima vrlo slične vrijednosti koksa, kao Miscanthus ili koštice ostalih analiziranih vrsta, a sadržaj koksa je poželjno svojstvo goriva, somina potencijalno predstavlja dobru sirovinu za proizvodnju energije.

U tablici 4.6 prikazana je statistička analiza sadržaja fiksiranog ugljika u uzorcima istraživane kulture.

Tablica 4.6. Statistička analiza sadržaja fiksiranog ugljika u uzorcima

| **ANOVA** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| SADRŽAJ FIKSIRANOG UGLJIKA | | | | | |
| | SS | df | MS | F | p |
| Između | 0,048 | 4 | 0,012 | 0,682 | 0,620 |
| Unutar | 0,178 | 10 | 0,018 | | |
| Ukupno | 0,226 | 14 | | | |

Nakon gorenja kruti ostatak predstavlja sadržaj fiksiranog ugljika, odnosno otpuštanja hlapivih tvari pri čemu se ne računa pepeo (Garcia i sur.,2012). Biomasa općenito sadrži manje fiksiranog ugljika, pri čemu je prihvatljiva razina do 20 % (Garcia i sur., 2012). Prema tome može se reći da su vrijednosti fiksiranog ugljika prihvatljive (4,84 % do 13,29 %). U tablici 4.6 prikazana je statistička analiza sadržaja fiksiranog ugljika u uzorcima istraživane kulture.

Garcia i sur. (2012) za koru nara dobili su vrijednost od 25,20 %. Vrijednost od 14,08 % za koru nara dobili su Ucar i sur. (2009), što predstavlja sličnu vrijednost ovom istraživanju. Također, Jurišić i sur. (2016), za koštice trešnje i višnje dobili su vrijednosti koje su se kretale oko 15 % što su malo veće vrijednosti ovima u istraživanju.

Sukladno dobivenim rezultatima zaključujemo da se ne može odbaciti nulta hipoteza H0 na razini značajnosti od 5 %. Dakle, ne postoji statistički značajna razlika sadržaja fiksiranog ugljika između uzoraka s različitih lokacija pa ne provodimo post hoc testove.

U tablici 4.7 prikazana je statistička analiza sadržaja hlapivih tvari u uzorcima istraživane kulture.

Tablica 4.7. Statistička analiza sadržaja hlapivih tvari u uzorcima

| **ANOVA** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| SADRŽAJ HLAPIVIH TVARI | | | | | |
| | SS | df | MS | F | p |
| Između | 0,000 | 4 | 0,000 | 15,451 | 0,000 |
| Unutar | 0,000 | 10 | 0,000 | | |
| Ukupno | 0,000 | 14 | | | |

Kada se gorivo zagrijava na visokoj temperaturi dobiju se komponente odnosno hlapive tvari, ne računajući na vlagu, kao dio zapaljivih plinova. Hlapive tvari se sastoje od zapaljivih ugljikovodika, ugljikovog monoksida ili vodika, nezapaljivih ugljikovodika i sumpornih dioksida te dušikovih oksida. Biomasa općenito ima visok sadržaj hlapivih tvari, s vrijednostima od 75 % no mogu se povećati i do 90 % što ovisi o vrsti uzorka (Khan i sur., 2009). Očekivana vrijednost hlapivih tvari za biomasu je od 65 % do 85 % (Yao i sur., 2005). Za drvenu biomasu očekuje se od 76 % do 86 % hlapivih tvari (Telmo i sur.,2010). U tablici 4.7 prikazana je statistička analiza sadržaja hlapivih tvari u uzorcima istraživane kulture.

Sukladno dobivenim rezultatima može se odbaciti nulta hipoteza H0 na razini značajnosti od 5 %. Dakle, postoji statistički značajna razlika sadržaja hlapivih tvari između uzoraka s različitih lokacija. Post hoc LSD testom utvrđeno je na kojim se točno lokacijama javljaju statistički značajne razlike u sadržaju hlapivih tvari, kao što je vidljivo iz tablice 4.8.

Tablica 4.8. LSD post hoc test sadržaja hlapivih tvari

| **Usporedba lokacija** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Zavisna varijabla: HLAPIVE TVARI | | | | | | |
| LSD | | | | | | |
| | | Razlika | | | 95% interval pouzdanosti | |
| | | srednjih | Std. | | Donja | Gornja |
| (I) lokacija | (J) lokacija | vrijednosti | greška | p | granica | granica |
| 1,00 | 2,00 | ,0009000* | ,0002026 | ,001 | ,000449 | ,001351 |
| | 3,00 | ,0011333* | ,0002026 | ,000 | ,000682 | ,001585 |
| | 4,00 | ,0000367 | ,0002026 | ,860 | -,000415 | ,000488 |
| | 5,00 | ,0010700* | ,0002026 | ,000 | ,000619 | ,001521 |
| 2,00 | 1,00 | -,0009000* | ,0002026 | ,001 | -,001351 | -,000449 |
| | 3,00 | ,0002333 | ,0002026 | ,276 | -,000218 | ,000685 |
| | 4,00 | -,0008633* | ,0002026 | ,002 | -,001315 | -,000412 |
| | 5,00 | ,0001700 | ,0002026 | ,421 | -,000281 | ,000621 |
| 3,00 | 1,00 | -,0011333* | ,0002026 | ,000 | -,001585 | -,000682 |
| | 2,00 | -,0002333 | ,0002026 | ,276 | -,000685 | ,000218 |
| | 4,00 | -,0010967* | ,0002026 | ,000 | -,001548 | -,000645 |
| | 5,00 | -,0000633 | ,0002026 | ,761 | -,000515 | ,000388 |
| 4,00 | 1,00 | -,0000367 | ,0002026 | ,860 | -,000488 | ,000415 |
| | 2,00 | ,0008633* | ,0002026 | ,002 | ,000412 | ,001315 |
| | 3,00 | ,0010967* | ,0002026 | ,000 | ,000645 | ,001548 |
| | 5,00 | ,0010333* | ,0002026 | ,000 | ,000582 | ,001485 |
| 5,00 | 1,00 | -,0010700* | ,0002026 | ,000 | -,001521 | -,000619 |
| | 2,00 | -,0001700 | ,0002026 | ,421 | -,000621 | ,000281 |
| | 3,00 | ,0000633 | ,0002026 | ,761 | -,000388 | ,000515 |
| | 4,00 | -,0010333* | ,0002026 | ,000 | -,001485 | -,000582 |

U tablici 4.8 može se vidjeti da se, na razini značajnosti od 5 %, statistički značajne razlike u sadržaju hlapivih tvari javljaju redom između lokacija: L1-L2, L1-L3, L1-L5, L2-L4, L3-L4, L4-L5. U ovom istraživanju sadržaj hlapivih tvari varira oko 82 %, kao što je i očekivano za drvenu biomasu (Telmo i sur.,2010). Jurišić i sur., (2016) navode da su se u uzorcima koštice trešnje i višnje vrijednosti hlapivih tvari kretale od 67, 47 % do 74, 25 %, što su niže vrijednosti nego kod somine. U uzorcima koštice nara Garcia i sur. (2012) navode da se vrijednosti hlapivih tvari kreću oko 68 %. Ucar i sur. (2009) navode da se u košticama nara analiziranih u njihovom istraživanju nalazilo oko 78,71 % hlapivih tvari.

Kao što je vidljivo iz svih literaturnih navoda kao i iz ovog istraživanja, zbog visokog sadržaja hlapivih tvari može se utvrditi da su biogoriva lako zapaljiva čak i pri relativno niskim temperaturama, a posebice u usporedbi s nekim fosilnim gorivima kao što je ugljen (Garcia i sur., 2012).

U tablici 4.9 prikazana je statistička analiza sadržaja ogrjevne vrijednosti u uzorcima istraživane kulture.

Tablica 4.9. Statistička analiza sadržaja ogrjevne vrijednosti u uzorcima

| **ANOVA** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| SADRŽAJ OGRJEVNE VRIJEDNOST | | | | | |
| | SS | df | MS | F | p |
| Između | 2,563 | 4 | 0,641 | 1,316 | 0,363 |
| Unutar | 2,920 | 6 | 0,487 | | |
| Ukupno | 5,483 | 10 | | | |

Garcia i sur. (2012) smatraju da je ogrjevna vrijednost jedan od najvažnijih parametara u ovakvim istraživanjima, jer predstavlja količinu energije koja se može dobiti izgaranjem određene količine biomase. U tablici 4.9 prikazana je statistička analiza ogrjevne vrijednosti u uzorcima istraživane kulture. U ovom istraživanju sadržaj gorivih tvari kretao se od 19,97 MJ/kg do 21,17 MJ/kg, ovisno o lokaciji, što su vrijednosti biljne biomase, te predstavlja sominu kao vrlo dobar izvor energije.

Gornja ogrjevna vrijednost biomase ciganskog perja kreće se od 15,63 do 16,75 MJ/kg (Bukarica, 2018), dok se ogrjevna vrijednost slame žitarice kretala od 17,59 do 18,76 MJ/kg (Grubor i sur., 2017). Nadalje, McKendry (2002) je za stabljiku pšenice dobio vrijednost od 17,30 MJ/kg.

Sukladno dobivenim rezultatima zaključuje se da ne možemo odbaciti nultu hipotezu H0 na razini značajnosti od 5 %. Dakle, ne postoji statistički značajna razlika ogrjevne vrijednosti između uzoraka s različitih lokacija pa ne provodimo post hoc testove.

Jedan od najčešćih biopolimera u prirodi je lignoceluloza. Za razliku od zrna žitarica, u kojima je škrob najznačajniji ugljikohidrat, lignocelulozna biomasa sastoji se od celuloze (40-50%), hemiceluloze (25-35%) i lignina (15-20%) (Gray i sur., 2006).

U tablici 4.10 prikazana je statistička analiza lignoceluloznog sastava u uzorcima istraživane kulture.

Tablica 4.10 Statistička analiza lignoceluloznog sastva u uzorcima

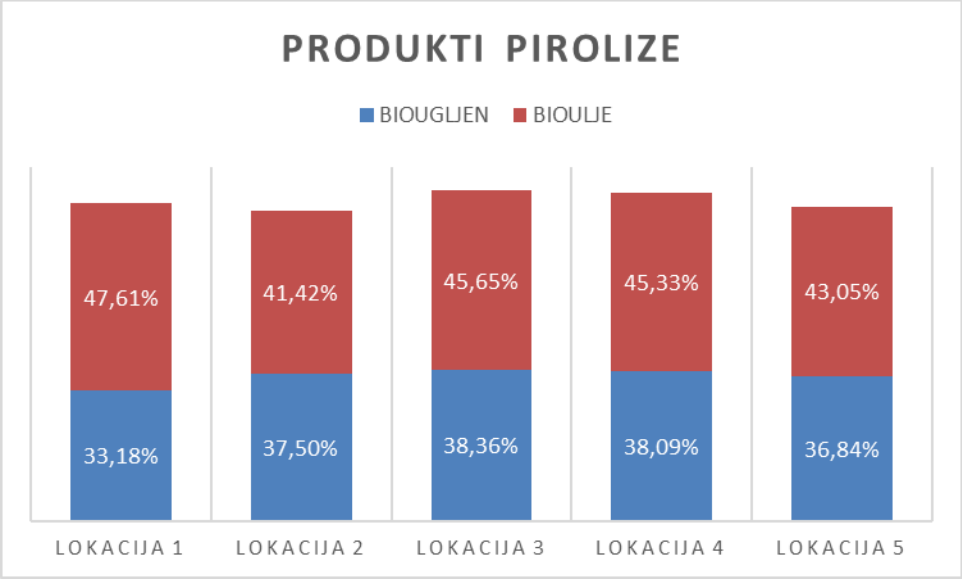
| | | S Lokacija 1 | S Lokacija 2 | S Lokacija 3 | S Lokacija 4 | S Lokacija 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Celuloza** | (%) | 23,40 | 19,21 | 17,03 | 17,25 | 23,25 |
| **Lignin** | (%) | 35,38 | 37,07 | 42,83 | 40,38 | 39,28 |
| **Hemiceluloza** | (%) | 16,10 | 16,40 | 9,59 | 12,85 | 13,29 |

U tablici 4.10 prikazani su rezultati iz kojih zaključujemo da se najviše celuloze nalazi na lokaciji 1, najviše lignina na lokaciji 3 te hemiceluloze u uzorcima s lokacije 2. Vidaković (2012) navodi da je sadržaj celuloze kod četinjača više manje isti (40-45 % na apsolutno suhu tvar). Sadržaj hemiceluloze u četinjačama je između 25-30 %, a kod listača 30-35 %, a sadržaj lignina četinjača se uglavnom kreće od 25-30 %, dok se sadržaj lignina u listačama kreće između 20-25 % na apsolutno suhu tvar.

U nekim poljoprivrednim ostacima, npr. stabljici kukuruza udio celuloze iznosi 28 %, hemiceluloze 28 % te lignina 11 %, dok je u slami pšenice udio celuloze 30 %, hemiceluloze 50 % i lignina 15 % (Sun i Cheng, 2002). Lignocelulozni sastav slama žitarica iznosi: sadržaj celuloze slama žitarica od 30,64 % do 45,66 %, sadržaj hemiceluloze od 17,56 % do 39,67 % i sadržaj lignina od 22,28 % do 29,27 % (Grubor i sur., 2015). Kod uzoraka somine vidi se da je sadržaj celuloze i hemiceluloze niži nego kod navedenih kultura, a sadržaj lignina je veći.

Nakon analiza ulaznih sirovina, provela se piroliza uzoraka pri temperaturi od približno 400 ℃, pri čemu se računski utvrdio udio proizvedenog biougljena i bioulja.

Na grafu 4.1 prikazana je srednja vrijednost udjela bioulja i biougljena nakon provedene pirolize istraživane kulture.




Graf 4.1. Produkti pirolize – biougljen i bioulje

Rezultati vidljivi na grafu 4.1 prikazuju udio biougljena i bioulja nastalih procesom pirolize. Vidljivo je kako je najveća količina biougljena (38,36 %) dobivena analizom uzoraka lokacije 3, a najmanja količina biougljena (33,18 %) dobivena analizom uzoraka lokacije 1. Također je vidljivo kako je najveća količina bioulja (47,61 %) dobivena analizom uzoraka lokacije 1, a najmanja količina bioulja (41,42 %) dobivena analizom uzoraka lokacije 2.

Manji udio biougljena je kod somine, kada usporedimo udio biougljena kod slame žitarica u iznosu od 55 % do 75 % (Grubor i sur., 2015). Također manji udio biougljena kod vrste *Sida hermaphrodita* u iznosu od 27,7 % i bioulja u iznosu od 36,9 % kod *Miscanthus x giganteus* dobio je Kontek (2016) u istraživanju.

Sastav biougljena analiziran je standardnim metodama za čvrsta biogoriva. U tablici 4.11 prikazana je statistička analiza pepela u biougljenu u uzorcima istraživane kulture.

Tablica 4.11. Statistička analiza sadržaja pepela u biougljenu

| **ANOVA** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| SADRŽAJ PEPELA U BIOUGLJENU | | | | | |
| | SS | df | MS | F | p |
| Između | 0,002 | 4 | 0,001 | 46,749 | 0,000 |
| Unutar | 0,000 | 10 | 0,000 | | |
| Ukupno | 0,002 | 14 | | | |

Sukladno dobivenim rezultatima može se odbaciti nulta hipoteza H0 na razini značajnosti od 5 %. Dakle, postoji statistički značajna razlika u sadržaju pepela između uzoraka s različitih lokacija.

Post hoc LSD testom utvrđeno je na kojim se točno lokacijama javljaju statistički značajne razlike u sadržaju pepela, kao što je vidljivo iz tablice 4.12.

Tablica 4.12. LSD post hoc test sadržaja pepela u biougljenu

| **Usporedba lokacija** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Zavisna varijabla: PEPEO U BIOUGLJENU | | | | | | |
| LSD | | | | | | |
| | | Razlika srednjih vrijednosti (I-J) | Std. Greška | p | 95% interval pouzdanosti | |
| | | | | | Donja granica | Gornja granica |
| (I) lokacija | (J) lokacija | | | | | |
| 1,00 | 2,00 | -,0269000* | ,0028791 | ,000 | -,033315 | -,020485 |
| | 3,00 | -,0247033* | ,0028791 | ,000 | -,031118 | -,018288 |
| | 4,00 | -,0295000* | ,0028791 | ,000 | -,035915 | -,023085 |
| | 5,00 | -,0038700 | ,0028791 | ,209 | -,010285 | ,002545 |
| 2,00 | 1,00 | ,0269000* | ,0028791 | ,000 | ,020485 | ,033315 |
| | 3,00 | ,0021967 | ,0028791 | ,463 | -,004218 | ,008612 |
| | 4,00 | -,0026000 | ,0028791 | ,388 | -,009015 | ,003815 |
| | 5,00 | ,0230300* | ,0028791 | ,000 | ,016615 | ,029445 |
| 3,00 | 1,00 | ,0247033* | ,0028791 | ,000 | ,018288 | ,031118 |
| | 2,00 | -,0021967 | ,0028791 | ,463 | -,008612 | ,004218 |
| | 4,00 | -,0047967 | ,0028791 | ,127 | -,011212 | ,001618 |
| | 5,00 | ,0208333* | ,0028791 | ,000 | ,014418 | ,027248 |
| 4,00 | 1,00 | ,0295000* | ,0028791 | ,000 | ,023085 | ,035915 |
| | 2,00 | ,0026000 | ,0028791 | ,388 | -,003815 | ,009015 |
| | 3,00 | ,0047967 | ,0028791 | ,127 | -,001618 | ,011212 |
| | 5,00 | ,0256300* | ,0028791 | ,000 | ,019215 | ,032045 |
| 5,00 | 1,00 | ,0038700 | ,0028791 | ,209 | -,002545 | ,010285 |
| | 2,00 | -,0230300* | ,0028791 | ,000 | -,029445 | -,016615 |
| | 3,00 | -,0208333* | ,0028791 | ,000 | -,027248 | -,014418 |
| | 4,00 | -,0256300* | ,0028791 | ,000 | -,032045 | -,019215 |

U tablici 4.12 može se vidjeti da se na razini značajnosti od 5%, statistički značajne razlike u sadržaju pepela u biougljenu, javljaju redom između lokacija: L1-L2, L1-L3, L1-L4, L2-L5, L3-L5, L4-L5. Sadržaj pepela u biougljenu istraživane kulture kretao se od 7,90 % do 13,50 %. Udio pepela u biougljenu slame soje Krička i sur. (2016) navode 11,83 % i za stabljiku uljane

repice 7,64 %. Gelo (2017) u svom radu za udio pepela u biougljenu navodi 9,70 % za uljanu repicu *Ametyst* i 7,90 % za soju *Lucija*.

Jurišić i sur. (2014) navode da budući da je sadržaj pepela u negativnoj korelaciji s ogrjevnom vrijednosti, a njegova količina i sastav mogu značajno utjecati na procese izgaranja i pretvorbe biomase, poželjan je njegov niski sadržaj, što nije slučaj kod ispitivane kulture.

Tablica 4.13. Statistička analiza sadržaja koksa u biougljenu

| **ANOVA** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| SADRŽAJ KOKSA U BIOUGLJENU | | | | | |
| | SS | df | MS | F | p |
| Između | 0,037 | 4 | 0,009 | 3,619 | 0,045 |
| Unutar | 0,025 | 10 | 0,003 | | |
| Ukupno | 0,062 | 14 | | | |

U tablici 4.13 prikazana je statistička analiza sadržaja koksa u uzorcima istraživane kulture.

Sukladno dobivenim rezultatima može se odbaciti nulta hipoteza H0 na razini značajnosti od 5 %. Dakle, postoji statistički značajna razlika u sadržaju koksa između uzoraka s različitih lokacija.

Post hoc LSD testom utvrđeno je na kojim se točno lokacijama javljaju statistički značajne razlike u sadržaju koksa.

Tablica 4.14. LSD post hoc test sadržaja koksa u biougljenu

| **Usporedba lokacija** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Zavisna varijabla: KOKSA U BIOUGLJENU | | | | | | |
| LSD | | | | | | |
| | | Razlika srednjih vrijednosti (I-J) | Std. Greška | p | 95% Interval pouzdanosti | |
| (I) lokacija | (J) lokacija | | | | Donja granica | Gornja granica |
| 1,00 | 2,00 | -,0891667 | ,0411617 | ,056 | -,180881 | ,002547 |
| | 3,00 | -,1033300* | ,0411617 | ,031 | -,195044 | -,011616 |
| | 4,00 | -,1428500* | ,0411617 | ,006 | -,234564 | -,051136 |
| | 5,00 | -,1247967* | ,0411617 | ,013 | -,216511 | -,033083 |
| 2,00 | 1,00 | ,0891667 | ,0411617 | ,056 | -,002547 | ,180881 |
| | 3,00 | -,0141633 | ,0411617 | ,738 | -,105877 | ,077551 |
| | 4,00 | -,0536833 | ,0411617 | ,221 | -,145397 | ,038031 |
| | 5,00 | -,0356300 | ,0411617 | ,407 | -,127344 | ,056084 |
| 3,00 | 1,00 | ,1033300* | ,0411617 | ,031 | ,011616 | ,195044 |
| | 2,00 | ,0141633 | ,0411617 | ,738 | -,077551 | ,105877 |
| | 4,00 | -,0395200 | ,0411617 | ,360 | -,131234 | ,052194 |
| | 5,00 | -,0214667 | ,0411617 | ,613 | -,113181 | ,070247 |
| 4,00 | 1,00 | ,1428500* | ,0411617 | ,006 | ,051136 | ,234564 |
| | 2,00 | ,0536833 | ,0411617 | ,221 | -,038031 | ,145397 |
| | 3,00 | ,0395200 | ,0411617 | ,360 | -,052194 | ,131234 |
| | 5,00 | ,0180533 | ,0411617 | ,670 | -,073661 | ,109767 |
| 5,00 | 1,00 | ,1247967* | ,0411617 | ,013 | ,033083 | ,216511 |
| | 2,00 | ,0356300 | ,0411617 | ,407 | -,056084 | ,127344 |
| | 3,00 | ,0214667 | ,0411617 | ,613 | -,070247 | ,113181 |
| | 4,00 | -,0180533 | ,0411617 | ,670 | -,109767 | ,073661 |

U tablici 4.14 može se vidjeti da se, na razini značajnosti od 5 %, statistički značajne razlike u sadržaju koksa javljaju redom između lokacija: L1-L3, L1-L4, L1-L5. Sadržaj koksa u uzorcima biougljena kretao se od 40,55 % do 71,68 %, što je znatno više u odnosu na analizu koksa ulaznih sirovina. U piroliziranim uzorcima sa svih pet lokacija prisutna je veća količina koksa što je dobra osobina pri izgaranju.

Sadržaj koksa kod somine je veći u odnosu na udio koksa u biougljenu iz stabljike uljane repice 42,43 % te za slamu soje 35,69 % (Krička i sur., 2016). Grubor i sur. (2015) za udio koka kod slame žitarica iznosi od 49 % do 62 %.

U tablici 4.15 prikazana je statistička analiza sadržaja fiksiranog ugljika u uzorcima istraživane kulture.

Tablica 4.15. Statistička analiza sadržaja fiksiranog ugljika u biougljenu

| **ANOVA** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| SADRŽAJ FIKSIRANOG UGLJIKA U BIOUGLJENU | | | | | |
| | SS | df | MS | F | P |
| Između | 0,034 | 4 | 0,008 | 3,542 | 0,048 |
| Unutar | 0,024 | 10 | 0,002 | | |
| Ukupno | 0,058 | 14 | | | |

Sukladno dobivenim rezultatima može se odbaciti nulta hipoteza H0 na razini značajnosti od 5 %. Dakle, postoji statistički značajna razlika u sadržaju fiksiranog ugljika između uzoraka s različitih lokacija.

Post hoc LSD testom utvrđeno je na kojim se točno lokacijama javljaju statistički značajne razlike u sadržaju fiksiranog ugljika, kao što je vidljivo iz tablice 4.16.

Tablica 4.16. LSD post hoc test sadržaja fiksiranog ugljika u biougljenu

| **Usporedba lokacija** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Zavisna varijabla: FIKSIRANOG UGLJIKA U BIOUGLJENU | | | | | | |
| LSD | | | | | | |
| | | Razlika srednjih vrijednosti (I-J) | Std. Greška | p | 95% interval pouzdanosti | |
| | | | | | Donja granica | Gornja granica |
| (I) lokacija | (J) lokacija | | | | | |
| 1,00 | 2,00 | -,0993433* | ,0399493 | ,032 | -,188356 | -,010331 |
| | 3,00 | -,1159533* | ,0399493 | ,016 | -,204966 | -,026941 |
| | 4,00 | -,1238240* | ,0399493 | ,011 | -,212837 | -,034811 |
| | 5,00 | -,1267433* | ,0399493 | ,010 | -,215756 | -,037731 |
| 2,00 | 1,00 | ,0993433* | ,0399493 | ,032 | ,010331 | ,188356 |
| | 3,00 | -,0166100 | ,0399493 | ,686 | -,105623 | ,072403 |
| | 4,00 | -,0244807 | ,0399493 | ,554 | -,113493 | ,064532 |
| | 5,00 | -,0274000 | ,0399493 | ,508 | -,116413 | ,061613 |
| 3,00 | 1,00 | ,1159533* | ,0399493 | ,016 | ,026941 | ,204966 |
| | 2,00 | ,0166100 | ,0399493 | ,686 | -,072403 | ,105623 |
| | 4,00 | -,0078707 | ,0399493 | ,848 | -,096883 | ,081142 |
| | 5,00 | -,0107900 | ,0399493 | ,793 | -,099803 | ,078223 |
| 4,00 | 1,00 | ,1238240* | ,0399493 | ,011 | ,034811 | ,212837 |
| | 2,00 | ,0244807 | ,0399493 | ,554 | -,064532 | ,113493 |
| | 3,00 | ,0078707 | ,0399493 | ,848 | -,081142 | ,096883 |
| | 5,00 | -,0029193 | ,0399493 | ,943 | -,091932 | ,086093 |
| 5,00 | 1,00 | ,1267433* | ,0399493 | ,010 | ,037731 | ,215756 |
| | 2,00 | ,0274000 | ,0399493 | ,508 | -,061613 | ,116413 |
| | 3,00 | ,0107900 | ,0399493 | ,793 | -,078223 | ,099803 |
| | 4,00 | ,0029193 | ,0399493 | ,943 | -,086093 | ,091932 |

U tablici 4.16 može se vidjeti da se, na razini značajnosti od 5 %, statistički značajne razlike u sadržaju fiksiranog ugljika javljaju redom između lokacija: L1-L2, L1-L3, L1-L4, L1-L5. Sadržaj fiksiranog ugljika u biougljenu kreće se od 37,80 % do 68,93 % što je vidljivo više od sadržaja fiksiranog ugljika ulazne sirovine, ali ulazi u granice prihvatljive vrijednosti.

Kod slame žitarica približne vrijednosti kretale su se od 33 % do 55 % (Grubor i sur., 2015). Usporedno, sadržaj fiksiranog ugljika analiziranog biougljena poljoprivrednih ostataka kod koštice trešnje 50,12 % te koštice višnje 56,46 % (Jurišić i sur., 2016).

U tablici 4.17 prikazana je statistička analiza sadržaja hlapivih tvari u uzorcima istraživane kulture.

Tablica 4.17. Statistička analiza sadržaja hlapivih tvari u biougljenu

| ANOVA | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| SADRŽAJ HLAPIVIH TVARI U BIOUGLJENU | | | | | |
| | SS | df | MS | F | P |
| Između | 0,000 | 4 | 0,000 | 2,041 | 0,164 |
| Unutar | 0,000 | 10 | 0,000 | | |
| Ukupno | 0,000 | 14 | | | |

Sukladno dobivenim rezultatima zaključujemo da se ne može odbaciti nulta hipoteza H0 na razini značajnosti od 5%. Dakle, ne postoji statistički značajna razlika sadržaja hlapivih tvari između uzoraka s različitih lokacija pa post hoc testove nije potrebno provesti.

Sadržaj hlapivih tvari biougljena kod somine kretao se od 25,03 % do 56,15 %. U prethodno spomenutom radu (Krička i sur., 2016) vrijednost za stabljiku uljane repice iznosila je 57,57 % hlapive tvari, a za slamu soje 64,31 % što je slično rezultatima ovog istraživanja. Gelo (2017) prikazuje vrijednosti prosjeka za uljanu repicu *Ametyst* 46,30 % dok za soju *Lucija* 45,98 % hlapivih tvari.

U tablici 4.18 prikazana je statistička analiza ogrjevne vrijednosti u uzorcima istraživane kulture.

Tablica 4.18. Statistička analiza ogrjevne vrijednosti u biougljenu

| ANOVA | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| SADRŽAJ OGRJEVNE VRIJEDNOSTI U BIOUGLJENU | | | | | |
| | SS | df | MS | F | P |
| Između | 3,730 | 4 | 0,933 | 23,061 | 0,002 |
| Unutar | 0,202 | 5 | 0,040 | | |
| Ukupno | 3,933 | 9 | | | |

Sukladno dobivenim rezultatima može se odbaciti nulta hipoteza H0 na razini značajnosti od 5 %. Dakle, postoji statistički značajna razlika u ogrjevnoj vrijednosti između uzoraka s različitih lokacija.

Post hoc LSD testom utvrđeno je na kojim se točno lokacijama javljaju statistički značajne razlike u ogrjevnoj vrijednosti.

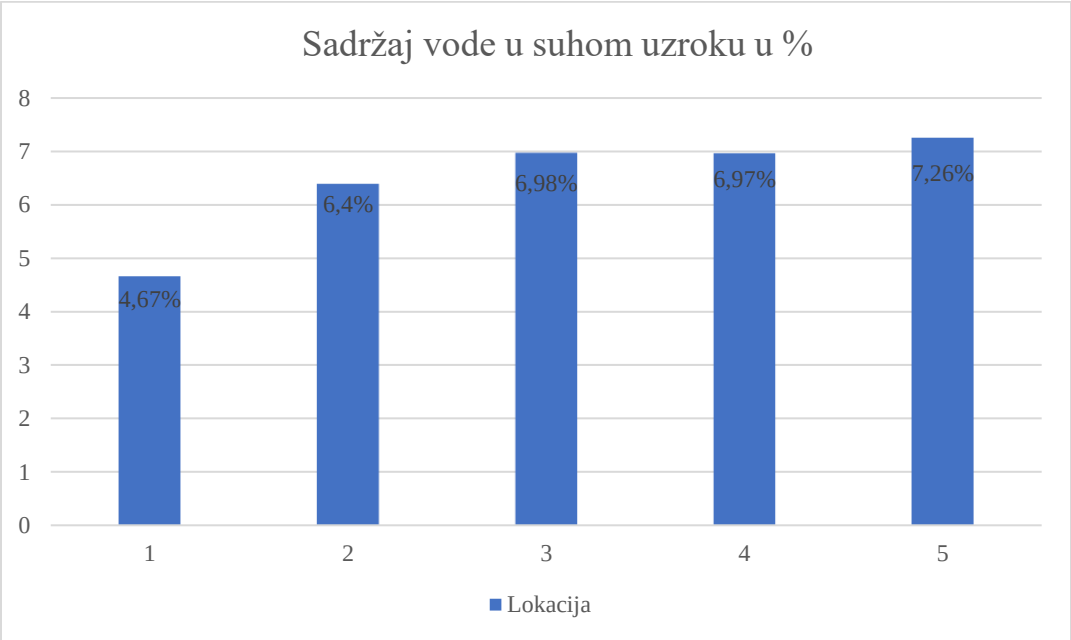
Tablica 4.19. LSD post hoc test ogrjevne vrijednosti u biougljenu

| **Usporedba lokacija** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Zavisna varijabla: OGRJEVNA VRIJEDNOST U BIOUGLJENU | | | | | | |
| LSD | | | | | | |
| | | Razlika srednjih vrijednosti (I-J) | Std. Greška | p | 95% interval pouzdanosti | |
| | | | | | Donja granica | Gornja granica |
| (I) lokacija | (J) lokacija | | | | | |
| 1,00 | 2,00 | 1,0100000* | ,2010970 | ,004 | ,493064 | 1,526936 |
| | 3,00 | ,5200000* | ,2010970 | ,049 | ,003064 | 1,036936 |
| | 4,00 | 1,0600000* | ,2010970 | ,003 | ,543064 | 1,576936 |
| | 5,00 | -,5400000* | ,2010970 | ,044 | -1,056936 | -,023064 |
| 2,00 | 1,00 | -1,0100000* | ,2010970 | ,004 | -1,526936 | -,493064 |
| | 3,00 | -,4900000 | ,2010970 | ,059 | -1,006936 | ,026936 |
| | 4,00 | ,0500000 | ,2010970 | ,814 | -,466936 | ,566936 |
| | 5,00 | -1,5500000* | ,2010970 | ,001 | -2,066936 | -1,033064 |
| 3,00 | 1,00 | -,5200000* | ,2010970 | ,049 | -1,036936 | -,003064 |
| | 2,00 | ,4900000 | ,2010970 | ,059 | -,026936 | 1,006936 |
| | 4,00 | ,5400000* | ,2010970 | ,044 | ,023064 | 1,056936 |
| | 5,00 | -1,0600000* | ,2010970 | ,003 | -1,576936 | -,543064 |
| 4,00 | 1,00 | -1,0600000* | ,2010970 | ,003 | -1,576936 | -,543064 |
| | 2,00 | -,0500000 | ,2010970 | ,814 | -,566936 | ,466936 |
| | 3,00 | -,5400000* | ,2010970 | ,044 | -1,056936 | -,023064 |
| | 5,00 | -1,6000000* | ,2010970 | ,001 | -2,116936 | -1,083064 |
| 5,00 | 1,00 | ,5400000* | ,2010970 | ,044 | ,023064 | 1,056936 |
| | 2,00 | 1,5500000* | ,2010970 | ,001 | 1,033064 | 2,066936 |
| | 3,00 | 1,0600000* | ,2010970 | ,003 | ,543064 | 1,576936 |
| | 4,00 | 1,6000000* | ,2010970 | ,001 | 1,083064 | 2,116936 |

U tablici 19 može se vidjeti da se, na razini značajnosti od 5 %, statistički značajne razlike u ogrjevnoj vrijednosti javljaju redom između lokacija: L1-L2, L1-L3, L1-L4, L1-L5, L2-L5, L3-L4, L3-L5, L4-L5. Vidljivo je da su L1 i L5 približno jednake, u ovom slučaju veće od ostalih lokacija. Gornja ogrjevna vrijednost uzoraka kod biougljena kretala se od 28,37 MJ/kg do 29,97 MJ/kg što je više nego kod ulaznih sirovina, te ga čini boljim energentom.

Gelo (2017) u svom istraživanju navodi da srednja vrijednost gornje ogrjevne vrijednosti za biougljen uljane repice *Ametyst* iznosi 23,55 MJ/kg, a za soju *Lucija* 28,79 MJ/kg. Nadalje,

prema istraživanju biougljena slame uljarica, gornja ogrjevna vrijednost slame soje iznosila je 23,97 %, slame uljane repice 25,82 % i slame suncokreta 26,1 % (Grubor i sur.,2017).




Graf 4.2. Sadržaj vode u suhom uzorku

U analiziranom sušenom uzorku somine graf 4.2 prikazuje sadržaj vode. Raspon sadržaja vode kretao se od 4,67 % (lokacija 1) do 7,26 % (lokacija 5). Kao što smo naveli za sušenu sirovinu očekivana vrijednost sadržaja vode varira oko 10 % (Yao i sur., 2005).

Tablica 4.20. Statistička analiza sadržaja vode u suhom uzorku

| **ANOVA** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| SADRŽAJ VODE U SUHOM UZORKU | | | | | |
| | SS | df | MS | F | p |
| Između | 0,034 | 4 | 0,008 | 15,394 | 0,000 |
| Unutar | 0,005 | 10 | 0,001 | | |
| Ukupno | 0,039 | 14 | | | |

U tablici 4.20 prikazana je statistička analiza sadržaja vode u uzorcima istraživane kulture.

Sukladno dobivenim rezultatima može se odbaciti nulta hipoteza H0 na razini značajnosti od 5%. Dakle, postoji statistički značajna razlika u sadržaju vode između uzoraka s različitih lokacija.

Post hoc LSD testom utvrđeno je na kojim se točno lokacijama javljaju statistički značajne razlike u sadržaju vode, kao što je vidljivo iz tablice 4.21.

Tablica 4.21. LSD post hoc test sadržaja vode u biougljenu

| **Usporedba lokacija** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Zavisna varijabla: VODA U SUHOM UZORKU | | | | | | |
| LSD | | | | | | |
| | | Razlika srednjih vrijednosti (I-J) | Std. greška | p | 95% interval pouzdanosti | |
| | | | | | Donja granica | Gornja granica |
| (I) lokacija | (J) lokacija | | | | | |
| 1,00 | 2,00 | -,0894333* | ,0191311 | ,001 | -,132060 | -,046807 |
| | 3,00 | -,0866667* | ,0191311 | ,001 | -,129293 | -,044040 |
| | 4,00 | ,0235000 | ,0191311 | ,247 | -,019127 | ,066127 |
| | 5,00 | -,0740000* | ,0191311 | ,003 | -,116627 | -,031373 |
| 2,00 | 1,00 | ,0894333* | ,0191311 | ,001 | ,046807 | ,132060 |
| | 3,00 | ,0027667 | ,0191311 | ,888 | -,039860 | ,045393 |
| | 4,00 | ,1129333* | ,0191311 | ,000 | ,070307 | ,155560 |
| | 5,00 | ,0154333 | ,0191311 | ,439 | -,027193 | ,058060 |
| 3,00 | 1,00 | ,0866667* | ,0191311 | ,001 | ,044040 | ,129293 |
| | 2,00 | -,0027667 | ,0191311 | ,888 | -,045393 | ,039860 |
| | 4,00 | ,1101667* | ,0191311 | ,000 | ,067540 | ,152793 |
| | 5,00 | ,0126667 | ,0191311 | ,523 | -,029960 | ,055293 |
| 4,00 | 1,00 | -,0235000 | ,0191311 | ,247 | -,066127 | ,019127 |
| | 2,00 | -,1129333* | ,0191311 | ,000 | -,155560 | -,070307 |
| | 3,00 | -,1101667* | ,0191311 | ,000 | -,152793 | -,067540 |
| | 5,00 | -,0975000* | ,0191311 | ,000 | -,140127 | -,054873 |
| 5,00 | 1,00 | ,0740000* | ,0191311 | ,003 | ,031373 | ,116627 |
| | 2,00 | -,0154333 | ,0191311 | ,439 | -,058060 | ,027193 |
| | 3,00 | -,0126667 | ,0191311 | ,523 | -,055293 | ,029960 |
| | 4,00 | ,0975000* | ,0191311 | ,000 | ,054873 | ,140127 |

Vidljivo je da se, na razini značajnosti od 5%, statistički značajne razlike u sadržaju vode javljaju redom između lokacija: L1-L2, L1-L3, L1-L5, L2-L4, L3-L4, L4-L5.

Prema Gelo (2017) udio vode u prethodno osušenim uzorcima sadržaj vode kretao se u prosjeku od 8,83 % za uljanu repicu *Ametyst* i 7,67 % za soju *Lucija*. Kod istraživanih kultura *Sida hermaphrodi*ta sadržaj vode kreće se oko 6,51 % i 9,56% kod kulture *Miscanthus x giganteus*

(Kontek, 2016). Sadržaj vode kod slame suncokreta je 9,95 %, kod slame uljane repice 8,09 % i kod slame soje 8,3 % (Grubor i sur. 2017). Usporedbom s navedenim kulturama, može se zaključiti da vlaga somine u sušenim uzorcima slična kao i kod navedenih kultura te je povoljna za izgaranje.

# 5. ZAKLJUČAK

Na temelju provedenog istraživanja biomase biljne vrste *Juniperus phoenicea* L (somina) utvrđena su njezina fizikalno-kemijska i energetska svojstva, pirolitičko izgaranje i analiza produkta pirolize, biougljena, te se može zaključiti:

- analiza biomase uzoraka somine pokazala je da postoji statistički značajna razlika između lokacija u sadržaju vode, koksa, hlapivih tvari, a kod pepela, fiksiranog ugljika te ogrjevne vrijednosti ne postoji statistički značajna razlika;
- sadržaj vlage u svježem uzorku je manji od 50 % te je somina dobra sirovina za izgaranje;
- analiza sadržaja pepela u biomasi pokazala je nizak sadržaj pepala, na temelju čega se može zaključiti da sa aspekta sadržaja pepela somina dobra sirovina za izravno izgaranje;
- nizak sadržaj vrijednosti koksa u biomasi nije poželjno svojstvo u proizvodnji energije, dok je sadržaj koksa kod biougljena znatno veći te je dobra sirovina za proizvodnju energije;
- vrijednosti fiksiranog ugljika u biomasi i biougljenu su unutar literaturnih vrijednosti za biomasu. S obzirom na to somina je poželjna sirovina u proizvodnji energije;
- analiza lignoceluloznog sastava u uzorcima sa svih lokacija pokazuje nizak sadržaj celuloze i hemiceluloze, te visok sadržaj lignina što je pozitivno u proizvodnji energije iz biomase;
- ovisno o lokaciji rezultati gornje ogrjevne vrijednosti kreću se od 19,40 MJ/kg do 21,23 MJ/kg, odnosno biomasa istraživane kulture predstavlja dobar izvor energije;
- kod analize biougljena, sadržaj pepela je veći nego kod biomase uzroka što nije poželjno svojstvo:
- ogrjevna vrijednosti biougljena iznosi od 28,20 MJ/kg do 30,14 MJ/kg, viša je nego kod ulazne sirovine što ga čini još boljim energentom.

Temeljem dobivenih rezultata, može se zaključiti da je biljna vrsta *Juniperus phoenicea* L (somina) veoma dobra sirovina za proces neposrednog izgaranja, ali i za proces pirolize odnosno proizvodnju bioulja i biougljena te se svakako u budućnosti može koristiti u procesima dobivanja energije.

# 6. LITERATURA:


1. Abaidoo R. (2011). "Economic growth and energy consumption in an emerging economy: augmented Granger causality approach", Research in Business and Economics Journal, Volume 4, August 2011.
2. Allen D. J. (2017). "*Juniperus phoenicea*". The IUCN Red List of Threatened Species. IUCN. <http://www.iucnredlist.org/details/16348983/0> Pristupljeno: 14. kolovoza 2018
3. Baček I., Hanaček K., Kanjir I. (2012). Karakterizacija gorivih svojstava trave *Miscanthus x giganteus* uzgojene u Republici Hrvatskoj. Agronomski fakultet Zagreb.
4. Balat M., Demibas M. F. (2009). Bio–oil from Pyrolysis of Black Alder Wood. Energy Sources. Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. 31:19, 1719 1727. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15567030802459685> Pristupljeno: 21. kolovoza 2018
5. Boboulos M. (2010): Biomass Properties and Fire Prediction Tools. Book Boon
6. Bukarica I. (2018). Energetski potencijal invazivne biljne vrste cigansko perje (*Asclepias syriaca* L.). Diplomski rad, Zagreb.
7. Caudullo G., De Rigo D., San-Miguel-Ayanz J., Houston Durrant T., Mauri A. (2016). *Juniperus phoenicea* in Europe: distribution, habitat, usage and threatsEuropean Atlas of Forest Tree Species. Publ. Off. EU, Luxembourg.
8. Domac J. (2001). SOCIJALNO–EKONOMSKI UČINCI PRIMJENE ENERGIJE BIOMASE. Socijalna ekologija, 10 (3), 171-181.
9. Francescato V., Antonini E., Bergomi L. Z. (2008). Priručnik o gorivima iz drvne biomase. Regionalna energetska agencija Sjeverozapadne Hrvatske.
10. García R., Pizarro C., Lavín A. G., Bueno J. L. (2012). Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. Bioresource technology, 103(1), 249-258.
11. Gelo I. (2017). Zbrinjavanje posliježetvenih ostataka uljarica procesom pirolize. Diplomski rad, Zagreb.
12. Grubler A. (1998). Global energy perspectives. Cambridge: IIASA, WEC, Cambridge University Press.
13. Grubor M., Krička T., Jurišić V., Antonović A., Voća N., Bilandžija N., Matin A. (2017). Energetska iskoristivost posliježetvenih ostataka uljarica u Republici Hrvatskoj. 52. Hrvatski i 12. Međunarodni simpozij agronoma. Zbornik radova.. Dubrovnik, Hrvatska.
14. Grubor M., Krička T., Voća N., Jurišić V., Bilandžija N., Antonović A., Matin A. (2015). Iskoristivost slame žitarica za proizvodnju zelene energije. Zagreb. Krmiva 57,. 63-68.
15. Jurišić V., Krička, T., Matin, A., Bilandžija, N., Antonović, A., Voća, N., Torić. T. (2016). Proizvodnja energije i proizvoda dodane vrijednosti pirolizom koštica trešnje i višnje. 51. hrvatski i 11. međunarodni simpozij agronoma. Zbornik radova. Opatija, 475-479.

16. Jurišić V., Voća N., Bilandžija N., Krička T., Antonović A., Grubor M., Matin A., Kontek M. (2017). Pirolitička svojstva važnijih energetskih kultura u RH. 52. hrvatski i 12. međunarodni simpozij agronoma. Zbornik radova. Dubrovnik,. 651-655.
17. Kalea M. (2011) Biomasa u registru obnovljivih izvora energije < http://www.obnovljivi.com/pdf/PDF_OBNOVLJIVI_COM/Biomasa-u-Registru-OIE.pdf> Pristupljeno: 1. rujna 2018
18. Khan A. A., De Jong W., Jansens P. J., Spliethoff H. (2009). Biomass Combustion in Fluidized Bed Boilers: Potential Problems and Remedies. Fuel Process. Tehnol., 90: 21-50.
19. Klass D. L. (1998) Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals, USA.
20. Kontek M. (2016). Pirolitička svojstva važnijih poljoprivrednih energetskih kultura. Diplomski rad, Zagreb.
21. Kovačić S., Jasprica,N. Ruščić M. (2001). Floristic characteristics of Phoenician juniper macchiain Central and Southern Dalmatia (Croatia). Nat. Croat., 10(2), 73–81.<https://www.impdu.com/downloadRadovi/Kovacic%20et%20al_Natura%20Croatica_2001.pdf> Pristupljeno: 12. rujna 2018
22. Krička T., Jurišić V., Matin A., Bilandžija N., Antonović A. (2016). Mogućnost pretvorbe i iskorištenja ostataka poljoprivredne biomase nakon procesa pirolize. 51st Croatian and 11th International Symposium on Agriculture, Opatija, 485-489.
23. Leto J. (2014). Biomasa i ostali obnovljivi izvori energije. Gospodarski list, 23, 47-5
24. Ministarstvo gospodarstva (2013) Nacionalni akcijski plan za obnovljive izvore energije do 2020.godine <https://files.hrote.hr/files/PDF/Dokumenti/NAP/Nacionalni%20akcijski%20plan%20za%20OIE%20do%202020..pdf> Pristupljeno: 30. kolovoza 2018
25. Mohan D., Pittman C. U., Steele P. H. (2006). Pyrolysis of wood/biomass for biooil: a critical review. Energy & fuels, 20(3), 848-889.
26. Nikolić T. (2015).Flora Croatica - baza podataka.Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu. <(http://hirc.botanic.hr/fcd).> Pristupljeno:15. rujna.2018
27. OIKON – Institut za primjenjenu ekologiju; Priručnik o kartama staništa Dalmacije (2009): <http://undp.ivisa.com/upload/file/227/113690/FILENAME/31_07_Kartiranje_stanista_Dal...u_prioritetnim_podrucjima_S_.pdf> Pristupljeno: 15. travnja 2018
28. Permchart W., Kouprianov V. I. (2004). Emission performance and combustion efficiency of a conical fluidized-bed combustor firing various biomass fuels. Bioresour. Technol. 92, 83–91.
29. Peter A. (2017), Energetska iskoristivost kore i koštica nara (Punica granatum L.), Diplomski rad, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
30. Priroda i biljke; <https://www.plantea.com.hr/somina/> Pristupljeno: 15. travnja 2018

production: a review. Bioresour Technol. 83:1-11.
31. Ross C. J. (2008). Biomass Drying and Dewatering for Clean Heat & Power. Northwest CPH Application Center. USA.
32. Sluiter A.; Hames B.; Ruiz R.; Scarlata C.; Sluiter J.; Templeton D., 2005.a: Determination of ash in biomass. Laboratory analytical procedure. National renewable energy laboratory. 1-5.
33. Sluiter A.; Ruiz R.; Scarlata C.; Sluiter J.; Templeton D., 2005.b: Determination of extractives in biomass. Laboratory analytical procedure. National renewable energy laboratory. 1-12.
34. Službeni list Europske unije (2009): DIREKTIVA 2009/28/EZ EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 23. travnja 2009. o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora te o izmjeni i kasnijem stavljanju izvan snage direktiva 2001/77/EZ i 2003/30/EZ. [online] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32009L0028&from=HR > Pristupljeno: 21. srpnja 2018.
35. Sun, Y., Cheng, J. (2002): Hydrolysis of lignocellulosic materils for ethanol: a review. Bioresour Technol. 83:1-11.
36. Sušnik, H., Benković, Z.; Energetska strategija republike Hrvatske u kontekstu održivog razvitka šumarstva i poljoprivrede // OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE U REPUBLICI HRVATSKOJ (energija biomase, bioplina i biogoriva); ZBORNIK RADOVA (2007) HRVATSKA GOSPODARSKA KOMORA Zagreb, Rooseveltov trg 2; <http://www.sumari.hr/biblioteka/Zbornik_Osijek_2007.pdf> Pristupljeno: 15.travnja 2018
37. Šegon, V., Šimek, T., Oradini A., Marchetti, M. (2014). Priručnik za učinkovito korištenje biomase, Zagreb <http://www.sumins.hr/wp-content/uploads/2017/08/Prirucnik.Biomasa-hrv.pdf > Pristupljeno: 27. kolovoza 2018
38. Šljivac, D., Šimić, Z. (2009.). Obnovljivi izvori energije: Najvažnije vrste, potencijal i tehnologija
39. Tao G., Lestander T.A., Geladi P., Xiong S. (2012); Biomass properties in association with plant species and assortments I: A synthesis based on literature data of energy properties; Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 16, Issue 5, June 2012, Pages 3481-3506 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.039> Pristupljeno: 20. kolovoza 2018
40. Telmo C, Lousada J, Moreira N. (2010). Proximate analysis, backwards stepwise regression between gross calorific value, ultimate and chemical analysis of wood. Bioresource Technology, 101: 3808–3815.

41. Trinajstić, I. (1987). Fitocenološko-tipološka analiza sastojina makije somine Juniperus phoenicea L. u Hrvatskom primorju. Acta Botanica Croatica, 46 (1), 115-121. < https://hrcak.srce.hr/159308> Pristupljeno: 13. srpnja 2018
42. Ucar S., Karagoz S. (2009). The slow pyrolysis of pomegranate seeds: The effect of temperature on the product yields and bio-oil properties. Journal of Analitical and Applied Pyrolysis. 84:151-156.
43. Vidakovič D. (2012), Kemijska analiza teških elemenata u otpadnom drvu. < https://bib.irb.hr/datoteka/598037.Damir_Vidakovi_-_Zavrni_rad.pdf> Pristupljeno: 1. rujna 2018
44. Vuleta D., (2006): Sobina pojela polovicu pašnjaka s kaduljom < https://www.jutarnji.hr/arhiva/sobina-pojela-polovicu-pasnjaka-s-kaduljom/3390527/> Pristupljeno: 20. rujna 2018
45. Yang H., Yan H., Chen H., Lee D. H., Zheng C. (2007) Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis; Fuel Volume 86, Issues 12–13, August 2007, Pages 1781-1788. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.12.013> Pristupljeno: 13. srpnja 2018
46. Yao B. Y., Changkook R., Adela K., Yates N. E., Sharifi V. N., Swithenbank J. (2005). Effect of fuel properties on biomass combustion. Part II. Modelling approach identification of the controlling factors. Fuel 84(16), 2116–2130.
47. Zafar S. (2018): Biomass Pyrolysis Process. <https://www.bioenergyconsult.com/biomass-pyrolysis-process/> Pristupljeno: 1. rujna 2018

# 7. ŽIVOTOPIS

Iva Milovac rođena je 04. 02. 1993. godine u Zadru. Nakon završetka osnovne škole upisuje Ekonomsko-birotehničku i trgovačku školu u Zadru. Nakon završetka srednje škole, 2011. godine upisjuje Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu usmjerenje Agroekologija. Preddiplomski završava 2015. godine i te iste godine upisuje diplomski studij Agreoekologije, usmjerenje Agroekologija, također na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.