

Korištenje biomase roda *Ambrosia* za dobivanje energije

Šerkinić, Paulina

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:204:587137>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-01**



Repository / Repozitorij:

[Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture



KORIŠTENJE BIOMASE RODA *Ambrosia* ZA DOBIVANJE ENERGIJE

DIPLOMSKI RAD

Paulina Šerkinić

Zagreb, rujana, 2022.



Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture



Diplomski studij:

Mikrobna biotehnologija u poljoprivredi

KORIŠTENJE BIOMASE RODA *Ambrosia* ZA DOBIVANJE ENERGIJE

DIPLOMSKI RAD

Paulina Šerkinić

Mentor:

prof.dr.sc. Neven Voća

Zagreb, rujan, 2022.



Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture



IZJAVA STUDENTA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, **Paulina Šerkinić**, JMBAG 0178092067, rođen/a **17.05.1993.** u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradila/izradio diplomski rad pod naslovom:

KORIŠTENJE BIOMASE RODA *Ambrosia* ZA DOBIVANJE 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

University of Zagreb
Faculty of Agriculture



IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studenta/ice **Paulina Šerkinić**, JMBAG 0178092067, naslova

KORIŠTENJE BIOMASE RODA *Ambrosia* ZA DOBIVANJE ENERGIJE

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____, dana _____.

Povjerenstvo:

potpisi:

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

Zahvala

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

Zahvaljujem se mentoru prof.dr.sc. Nevenu Voći, mag.ing.agr. Anamariji Peter i mag.ing.agr. Mislavu Konteku na velikoj pomoći i strpljenju pri izvođenju analiza izradi rada.

Najveće zahvale idu mojoj obitelji i prijateljima koji su mi bili velika podrška tokom obrazovanja.

SADRŽAJ:

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | Uvod | 1 |
| 1.1. | Cilj rada..... | 2 |
| 2. | Pregled literature | 3 |
| 2.1. | Ambrozija..... | 3 |
| 2.1.1. | Taksonomska pripradnost ambrozije..... | 4 |
| 2.1.2. | Morfološka i ekološka obilježja | 4 |
| 2.1.3. | Rasprostranjenost u Hrvatskoj | 8 |
| 2.1.4. | Uklanjanje ambrozije..... | 9 |
| 2.2. | Biomasa kao obnovljiv izvor energije | 9 |
| 2.2.1. | Prednosti korištenja biomase | 11 |
| 2.2.2. | Konverzija biomase u energiju | 12 |
| 2.2.3. | Piroliza..... | 12 |
| 3. | Materijali i metode | 13 |
| 3.1. | Materijali..... | 13 |
| 3.2. | Metode..... | 14 |
| 3.2.1. | Sadržaj vode | 15 |
| 3.2.2. | Sadržaj pepela | 16 |
| 3.2.3. | Sadržaj koksa..... | 17 |
| 3.2.4. | Sadržaj fiksiranog ugljika..... | 17 |
| 3.2.5. | Sadržaj hlapive tvari | 17 |
| 3.2.6. | Udio celuloze, hemiceluloze i lignina..... | 17 |
| 3.2.7. | Ukupni ugljik, vodik, dušik, sumpor i kisik..... | 17 |
| 3.2.8. | Ogrjevna vrijednost | 18 |
| 3.2.9. | Piroliza..... | 19 |
| 4. | Rezultati i rasprava..... | 21 |
| 4.1. | Rezultati analiza biomase | 21 |
| 4.2. | Produkti pirolize | 32 |
| 4.3. | Rezultati analize biougljena | 32 |
| 5. | Zaključak | 37 |
| 6. | Literatura | 38 |
| 7. | Životopis..... | 41 |

Sažetak

Diplomskog rada studentice Pauline Šerkinić, naslova

Korištenje biomase roda *Ambrosia* za dobivanje energije

Fosilna goriva su neobnovljiva i uzrokuju onečišćenje okoliša, što je razlog sve većoj proizvodnji energije iz obnovljivih izvora. Veliki potencijal za proizvodnju energije nalazi se u biomasi biljnog ili životinjskog porijekla, kao obnovljivom izvoru energije, a posebice biljkama i poljoprivrednim ostacima koji se mogu pretvoriti u kruta, tekuća ili plinovita goriva.

Invazivne biljne vrste zbog brzog širenja i razmnožavanja nepovoljno utječu na poljoprivrednu proizvodnju, bioraznolikost drugih vrsta, kao i na zdravlje ljudi. Kako bi se smanjila njihova populacija bez upotrebe herbicida, nakon mehaničkog uklanjanja mogu se koristiti kao potencijalna sirovina za dobivanje energije. Ambrozija pripada skupini stranih invazivnih vrsta, te se kao korov nalazi u poljoprivrednim kulturama, a pelud ambrozije izaziva alergije kod ljudi.

Cilj rada bio je istražiti mogućnost korištenja ambrozije kao sirovine za neposredno izgaranje i proces pirolize te utvrditi njen energetski potencijal. Obradom dobivenih podataka i interpretacijom rezultata, utvrđen je potencijal primjene procesa pirolize biomase ambrozije s ciljem proizvodnje biougljena kao energenta i biougljena kao proizvoda dodane vrijednosti.

Ključne riječi: invazivna vrsta, ambrozija, biomasa, energetski potencijal

Summary

Of the master's thesis – student Paulina Šerkinić, entitled

Utilization of the *Ambrosia* genus biomass within energy production

Fossil fuels are non-renewable and can cause environmental pollution, which is why renewable energy production has a significant increase. Great potential for energy production is found in biomass of plant or animal source, as a renewable energy source, particular plants and agricultural residues that can be converted into solid, liquid, or gaseous fuels.

Invasive species because of their rapid spread and reproduction adversely affect agricultural production, biodiversity, and human health. In order to reduce their population without the use of herbicides, after mechanical removal, they can be used as a potential material for energy production. Ambrosia belongs to invasive species and found as a weed in agricultural crops, and their pollen causes allergies in humans.

The purpose of this study was to investigate the possibility of using ambrosia as a material for direct combustion and pyrolysis process to determine its energy potential. By processing the obtained data and interpreting the results, biomass potential of ragweed was determined to produce bio-oil as energy source and biochar as a value-added product.

Key words: invasive species, ambrosia, biomass, energy potential

1. Uvod

U današnje vrijeme zbog povećanja broja stanovništva i gospodarskog razvitka potrebe za energijom sve više rastu. Fosilni izvori energije su neobnovljivi i ima ih sve manje, dok je njihovo korištenje intenzivno i nekontrolirano. Zbog upotrebe neobnovljivih izvora energije, pretežito nafte i plina, dolazi do ekoloških onečišćenja. Izgaranje fosilnih energenata definirano je kao jedno od najznačajnijih izvora onečišćenja okoliša. Kao rješenje problema nastalih upotrebom neobnovljivih izvora energije okreće se korištenju i proizvodnji obnovljivih izvora energije (Bilandžija, 2014).

Europska unija se u skladu s Kyoto protokolom, o klimatskim promjenama i stakleničkim plinovima, obvezala da će do 2020. godine postići smanjenje emisije stakleničkih plinova i smanjenje potrošnje energije za 20% u odnosu na 1990. godinu, dok će povećati udio obnovljivih izvora energije za 20% i udio biogoriva u prometu za 10%. Europski parlament i vijeće u prosincu 2018. godine usvojili su nove mjere za obnovljive izvore energije. Dogovorom je određen obvezujući cilj EU u pogledu udjela obnovljivih izvora energije od 32% do 2030. U prometnom je sektoru određen cilj o udjelu obnovljivih izvora energije od 14%, od čega bi udio naprednih biogoriva i bioplina trebao iznositi 3,5% (1 % do 2025.) (Europski Parlament, 2020).

Zbog potrebe smanjenja stakleničkih plinova i potrošnje energije stvaraju se programi iskorištavanja obnovljivih izvora koji uključuju vjetroelektrane, male hidroelektrane, fotonaponske izvore, zemni plin, energiju iz otpada, te iz biomase (Šljivac i Šimić, 2009). Biomasa kao obnovljiv izvor energije ima veliki potencijal za iskorištavanje i može pridonijeti zaštiti okoliša, otvaranju novih radnih mjesta i ukupnom gospodarskom razvitku zemlje (Sušnik i Benković, 2007). Prednost biomase u odnosu na fosilna goriva je i neusporedivo manja emisija štetnih plinova i otpadnih tvari (Šljivac i Šimić, 2009). Osim što se korištenjem biomase dobiva energija, također se na ekološki prihvatljiv način zbrinjava i iskorištava otpad i ostatak iz poljoprivrede (Grubor i sur., 2015).

Biomasa invazivnih biljnih vrsta ima potencijal za upotrebu u proizvodnji energije zbog brzog širenja i razmnožavanja. Zbog svojih karakteristika, invazivne biljne vrste stvaraju prijetnju bioraznolikosti i probleme u poljoprivrednoj proizvodnji. Problem širenja i utjecaja invazivnih vrsta danas je vrlo raširen te se pokušava riješiti putem različitih institucija na globalnoj, europskoj i državnoj razini (Novak i Kravaršćan, 2011). Jedna od spomenutih invazivnih vrsta je i *Ambrosia artemisiifolia* L. (ambrozija) koja je rasprostranjena u većem dijelu Hrvatske (Sabo, 2014). Nalazimo je na napuštenim staništima, te kao korov mnogih poljoprivrednih kultura (Pagliarini, 2011). Osim što stvara probleme u poljoprivrednoj proizvodnji, ambrozija je i jedan od najjačih peludnih alergena. Uništava se čupanjem ili upotrebom herbicida (Pagliarini, 2011). Zbog brzog širenja i velike količine biomase koju tvori, u ovom radu ispitala se mogućnost korištenja njene biomase putem energetske uporabe dok bi se na taj način smanjila potreba za upotrebom herbicida.

1.1. Cilj rada

Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi mogućnost korištenja biomase ambrozije kao sirovine za neposredno izgaranje te odrediti njen energetska potencijal. Analize biomase ambrozije provesti će se nakon njenog mehaničkog uklanjanja iz prirode, vodeći se time da svojom invazivnošću i velikom količinom biomase predstavlja prijetnju bioraznolikosti, vrlo je alergena te uzrokuje velike štete u poljoprivredi. Nadalje, utvrdit će se potencijal primjene procesa pirolize s ciljem proizvodnje biouglja kao energenta i biougljena kao proizvoda dodane vrijednosti.

2. Pregled literature

2.1. Ambrozija

Ambrozija je jednogodišnja invazivna biljna vrsta podrijetlom iz Sjeverne Amerike. U Hrvatskoj je još poznata pod nazivima pelinolisni limundžik, partizanka i fazanuša (Radojčić, 2014).

Ambrozija je nativna vrsta Sjeverne i Južne Amerike i pronađena je u svim državama SAD-a, osim Aljaske. Prvi zapisi o ambroziji u SAD-u potječu iz 1838. godine u Michigenu (Sabo, 2014).

Iz Amerike je brodovima prenesena u Europu 1863. godine. Nalazila se u sjemenu crvene djeteline, lucerne i žitarica, a njezino širenje započelo je iz europskih luka: iz Rijeke prema ostatku Hrvatske i Dunavskoj dolini, od Trsta i Genove prema sjevernoj Italiji i od Marseille-a prema dolini Rhone. U zapadnom dijelu Mađarske pronađena je u dvadesetim godinama 20. stoljeća, a 30 godina poslije kolonizirala je cijelu regiju (Galzina i sur., 2010).

Hrvatski herbolog Kovačević, prvi je spomenuo prisutnost ambrozije 1940. godine na području Podravine, Posavine i Slavonije. Danas je rasprostranjena u većini Hrvatske, a dominira u kontinentalnom dijelu (Sabo, 2014).

Mađarska, Italija i Francuska su europske zemlje koje imaju najveći problem zagađenja peludom ambrozije (Gajnik i Peternel, 2009). U Europi, ambrozija nije pronađena na područjima višim od 400 m, dok je u Francuskoj nađena i na nadmorskim visinama do 1000 m (Gajnik, 2008).

Ambroziju nalazimo na napuštenim staništima, uz željezničke pruge, ceste, puteve, obale rijeka i potoka, u zapuštenim vrtovima i na loše obrađenim poljima. Od kultura najčešći je korov u mnogim povrtnim kulturama, krumpiru, kukuruzu, suncokretu, šećernoj repi, soji i mnogim drugim (Pagliarini, 2011). Ambrozija kao korov u poljoprivrednim kulturama može izazvati velike štete. Mehanički guši usjev oduzimajući biljci nadzemni i podzemni prostor. Smanjuje prinos i kvalitetu uzgajanih biljka, smanjuje količinu vode i hranjiva u tlu, snižava temperaturu tla i otežava obradu tla. Može biti prijelazni domaćin štetočinama i uzročnicima biljnih bolesti (Sabo, 2014).

Pelud ambrozije predstavlja jedan od najjačih peludnih alergena i uzrokuje ozbiljne zdravstvene tegobe određenom dijelu populacije. Kod osoba koje su alergične na pelud ambrozije, tokom cvatnje u kolovozu i rujnu javlja se alergijski rinitis.

2.1.1. Taksonomska pripadnost ambrozije

Rod *Ambrosia* sadrži oko 40 vrsta, a samo pet vrsta se nalazi u Europi. To su *Ambrosia artemisiifolia* L. koja je najrasprostranjenija, *A. trifida* L., *A. coronopifolia* Torr et Gray, *A. tenuifolia* Spreng i *A. maritima* koja jedina primarno potječe iz Europe (Galzina i sur., 2010). Sistematika roda ambrozija prikazana je u tablici 2.1.1.1.

Tablica 2.1.1.1. Taksonomska pripadnost vrste *Ambrosia artemisiifolia* L.

| | |
|-------------|-----------------------------------|
| Nadcarstvo | <i>Eukaryota</i> |
| Carstvo | <i>Plantae</i> |
| Podcarstvo | <i>Cormobionta</i> |
| Odjeljak | <i>Spermatophyta</i> |
| Pododjeljak | <i>Magnoliophytina</i> |
| Razred | <i>Magnoliopsida</i> |
| Podrazred | <i>Asteridea</i> |
| Red | <i>Asterales</i> |
| Porodica | <i>Asteraceae</i> |
| Potporodica | <i>Asteroideae</i> |
| Rod | <i>Ambrosia</i> |
| Vrsta | <i>Ambrosia artemisiifolia</i> L. |

2.1.2. Morfološka i ekološka obilježja

Biljka ambrozije ima jaki vretenasti korijen koji je obrastao bočnim korijenjem. Bočno korijenje biljci osigurava čvrstoću i dobro upijanje vode i hranjiva (Vlaović, 2016). Korijen je kratak, zbijen i razgranat. Obično ne prodire duboko u tlo, pa se može ukorijeniti i na plitkim i zbijenim tlima.

Ambrozija ima uspravnu, zeljastu i razgranatu stabljiku. Boja stabljike može biti od zeleno-sive do crvenkaste. Stabljika je prekrivena dugim bijelim dlakama (slika 2.1.2.1.). Poprečni presjek je četverobridan ili okrugao. Visina je uglavnom između 20 i 120 cm, a kod optimalnih uvjeta može postići visinu od 2 m (Grgić, 2014).



Slika 2.1.2.1. Stabljika ambrozije

Izvor: <https://www.plantea.com.hr/ambrozija/>

Listovi su na stabljici naizmjenično postavljeni, te su perasto razdijeljeni u uske, izduženo-lancetaste režnjeve (slika 2.1.2.2.). Obrasli su sitnim dlačicama. Naličje lista je sivo-zelene boje, a lice tamnozeleno boje. Naličje lista je svjetlije boje jer je epiderma naličja dlakavija od epiderme lica lista. Veličina listova je između 5 i 10 cm. Puči se nalaze i na licu i na naličju lista. Ambrozija regulira intenzitet transpiracije mijenjanjem veličine otvora puči (Grgić, 2014).



Slika 2.1.2.2. List ambrozije

Izvor: <https://www.plantea.com.hr/ambrozija/>

Ambrozija je jednodomna biljka i na istoj biljci razvija muške i ženske cvjetove (Vlaović, 2016). (slika 2.1.2.3.). Muški cvjetovi su sitni i cjevasti, okrenuti prema dolje i grupirani su u cvat u obliku glavice. Glavice sadrže 10 – 15 sitnih žućkastih cvjetova koji su sastavljeni od pet latica s tamnim crtama između njih (Sabo, 2014). Formiraju se u složene, viseće cvati u obliku klasa na vršnim dijelovima stabljike i bočnih grana. Prašnici se formiraju na kratkim drškama i imaju oblik diska, a proizvode veliki broj peludnih zrnaca (Grgić, 2014). Ženski cvjetovi nalaze se u pazušcima gornjih listova

ispod muških cvjetova. Sadrže jedan ispupčen tučak koji je obavijen braktejama. Iz plodnice tučka izlaze dvije izdužene njuške tučka koje su hrapave i ljepljive što omogućava lako prihvaćanje peluda koji je nošen vjetrom (Vlaović, 2016).



Slika 2.1.2.3. Cvijet ambrozije

Izvor: <https://www.plantea.com.hr/ambrozija/>

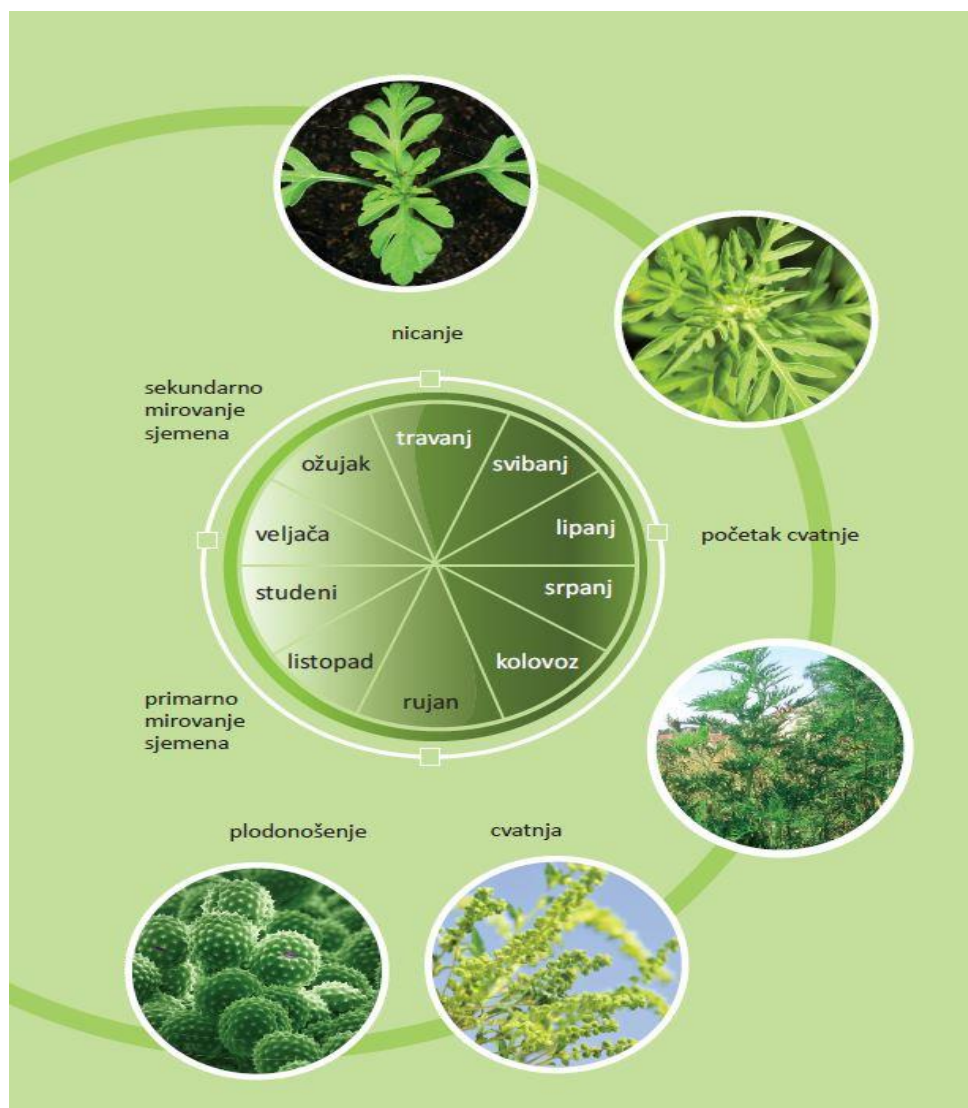
Plod ambrozije je okruglasto jajolika roška ili ahenija u kojoj se nalazi sjeme koje je obavijeno čvrstim omotačem (slika 2.1.2.4.). Roška sadrži 5 – 7 bodljikastih izraslina na jednoj strani, pri čemu je središnja izraslina najdulja (Grgić, 2014). Promjer ploda je oko 5 mm, duljina od 1,5 do 5 mm, a debljina od 1,0 do 1,7 mm (Vlaović, 2016). Biljka godišnje može proizvesti do 3000 roški koje zadržavaju klijavost do 40 godina (Novak i Kravašćan, 20011). Ambrozija se razmnožava isključivo sjemenom. Sjeme ambrozije osim „primarne dormatnosti“ ima i „sekundarnu dormantnost“ koja nastaje ako sjeme nije uspjelo klijati zbog nepovoljnih uvjeta. Sjeme mora proći fazu „stratifikacije“, odnosno fazu hladnog perioda u vlažnim uvjetima (Grgić, 2014).



Slika 2.1.2.4. Plod ambrozije

Izvor: <https://www.plantea.com.hr/ambrozija/>

Ambrozija niče i vegetira u šest faza koje su prikazane na slici 2.1.2.5. Prva faza je faza nicanja koja ovisi o temperaturi (optimalno 20 – 22°C) i klimatološkim prilikama. Nicanje počinje sredinom travnja. Kod hladnijeg vremena može trajati 10 do 16 dana, dok kod toplijeg traje 5 do 7 dana. Druga faza je faza razvoja stabljike i dijeli se u dvije podfaze. Prva podfaza je stvaranje prvog lišća i traje od 15 do 20 dana od početka nicanja. Druga podfaza je stvaranje stabljike i traje 20 do 30 dana od početka nicanja. Treća faza je faza grananja stabljike i traje 40 do 50 dana od početka nicanja. Četvrta faza je faza „butonizacije“ i traje 15 do 25 dana tik do cvatnje. Peta faza je faza cvatnje i traje 30 do 40 dana. Ovisno o klimatskim uvjetima cvatnja započinje u drugoj polovici lipnja ili u srpnju i traje do prvih mrazeva. Šesta faza je faza sazrijevanja sjemena. Nakon oplodnje sjeme se razvija i dozrijeva do kasno u jesen (Gajnik, 2008).



Slika 2.1.2.5. Životni ciklus ambrozije

Izvor: <https://www.hzjz.hr/author/abarisin/>

Biljke koje niču rano u proljeće imaju dužu vegetaciju, veće su, raširenije i proizvode više sjemena (Galzina i sur., 2010).

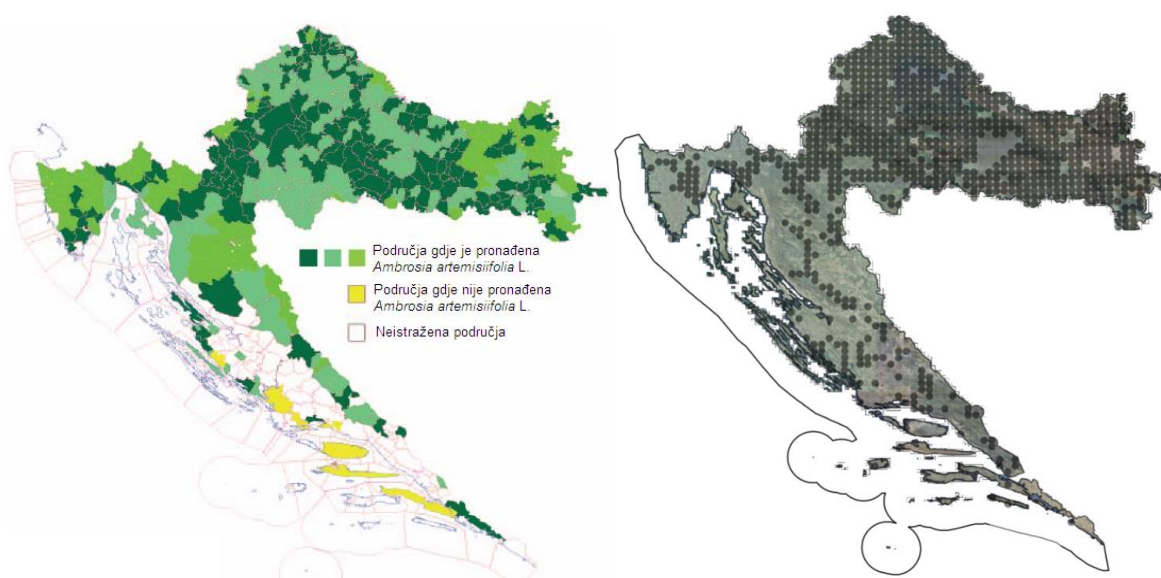
Ambrozija dobro uspijeva na suhim staništima i ima umjerene zahtjeve prema hranjivima. Odgovaraju joj svijetla i vrlo topla staništa na neutrofilnim tlima. Može rasti na različitim staništima neovisno o kvaliteti tla. Zahtjevi prema temperaturi i svjetlosti su veliki, jer je ambrozija heliofilna i termofilna biljka. Optimalna temperatura za klijanje je 20 – 22 °C. Vegetacijski period biljke traje od 150 do 170 dana ovisno o ekološkim uvjetima (Grgić, 2014).

2.1.3. Rasprostranjenost u Hrvatskoj

Ambroziju danas nalazimo gotovo u svim dijelovima Hrvatske. Najviše je rasprostranjena između rijeka Save i Drave.

Galzina i suradnici (2010), proveli su trogodišnje istraživanje (2004. – 2006.) rasprostranjenosti ambrozije u Hrvatskoj, koje je zajedno sa trenutnom rasprostranjenošću ambrozije prikazano na slici 2.1.3.1.. Od 521 istraživane općine, ambrozija je pronađena u 490 općina. Prema rezultatima njihova istraživanja, ambrozija je prisutna u cijeloj unutrašnjosti Hrvatske. Nalazi se kao korov u poljima suncokreta, kukuruza, šećerne repe i soje. Prisutna je uz puteve, željeznice i autoceste, te na napuštenim zemljištima. U priobalnom i gorskom dijelu Hrvatske prisutna je u znatno manjoj nazočnosti. Glavni razlog širenja u priobalnom području su prometna sredstva i zato je uglavnom nalazimo uz prometnice. Pojedinačne biljke pronađene su u Baškoj, Punatu, Cisti Provoj, Opatiji i Malinskoj. Tokom zadnje godine istraživanja ambrozija je pronađena na Krku, gdje je nije bilo u prethodne dvije godine.

Ambrozija je ranije pronađena u Lici, Gorskom kotaru, Primorju, Dalmaciji i Istri, te na kultiviranim područjima PK Vrana, PPK Zadar, PIK Neretva i Istra, dok je trenutno znatno proširena u cijelom priobalnom području.



Slika 2.1.3.1. Karta rasprostranjenosti *Ambrosia artemisiifolia* L. u Hrvatskoj (od 2004. do 2006. – lijevo; trenutna rasprostranjenost - desno)

Izvor: Galzina i sur., 2010. – lijevo; Nikolic, T. Flora Croatica Database - desno

Na području Zagrebačke županije i grada Zagreba najveće koncentracije peluda ambrozije zabilježene su u okolici Ivanić Grada, a najmanje u Samoboru. Pelud se sa područja Ivanić Grada vjetrom širi prema Zagrebu (Gajnik, 2008). Ambrozija se na području grada Zagreba proširila s poljoprivrednih i ruralnih područja na urbana.

2.1.4. Uklanjanje ambrozije

Ambrozija tokom cvatnje predstavlja veliki problem za alergičare te je potrebno pravovremeno uklanjanje. Kako bi se usporilo širenje, važno je uklanjanje biljke prije cvatnje. Do polovice 20. stoljeća ambrozija se najčešće nalazila na obradivim površinama, a tek unazad 50 godina kao njezino glavno stanište navode se površine uz prometnice. Na obradivim površinama biljka se može ukloniti mehaničkim, agrotehničkim i kemijskim mjerama i istražuje se upotreba patogenih gljivica i štetnika. U urbanim sredinama kemijske mjere su ograničene (Fistrić, 2015).

Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodnoga gospodarstva donijelo je Naredbu o poduzimanju mjera obveznog uklanjanja ambrozije (2007). Prema naredbi vlasnici i korisnici poljoprivrednog obrađenog i neobrađenog zemljišta, šuma i lovišta, ovlaštenici upravljanja vodotocima i kanalima te površinama uz vodotoke i kanale, ovlaštenici upravljanja i održavanja površina uz javne prometnice i željezničke pruge, ovlaštenici upravljanja parkovima i drugim javnim zelenim površinama dužni su redovito uklanjati i suzbijati ambroziju. Obveznici su dužni u više navrata u godini ukloniti biljku pomoću agrotehničkih mjera (pridržavanje plodoreda, obrada tla, pravovremena sjetva i gnojdba kulture, višekratno prašenje strništa i neobrađene poljoprivredne površine), mehaničkih (međuredna kultivacija, okopavanje, plijevljenje i pročupavanje izbjeglih biljaka, redovita košnja, priječenje prašenja i plodonošenja biljaka) i kemijskih (upotreba herbicida). Troškove uklanjanja obveznici snose sami, a ako se ne provede uklanjanje slijedi novčana kazna (NN 72/2007).

Najučinkovitiji načini suzbijanja ambrozije je čupanje biljke s korijenom prije početka cvatnje, krajem svibnja i početkom lipnja i primjena herbicida (Pagliarini, 2011). U kasnijem periodu, oko polovice svibnja, biljka se prije cvatnje može pokositi. Biljka se ne bi smjela uništavati u kolovozu jer je tada u punom cvatu. Uoči li se ambrozija u cvatu najbolje ju je odrezati i spaliti (Fistrić, 2015)

U gradu Zagrebu provodi se inicijativa „Zagreb bez ambrozije“ za uklanjanje ambrozije iz dvorišta vrtova, neobrađenog zemljišta, javnih zelenih površina i uz prometnice. Za uklanjanje ambrozije na javnim površinama zadužen je „Zrinjevac“, a sa privatnih zemljišta moraju je ukloniti vlasnici (Vlaović, 2016).

2.2. Biomasa kao obnovljiv izvor energije

Biomasa je biorazgradiv dio proizvoda, otpada i ostataka iz poljoprivrede (uključujući biljne i životinjske tvari), šumarstva i srodnih industrija te biorazgradiv dio industrije i komunalnog otpada (Šljivac i Šimić, 2009). Reakcijom između CO₂ iz zraka, vode i sunčeve energije, odnosno fotosintezom, nastaju ugljikohidrati koji tvore

biomasu. Nastala energija je pohranjena u kemijskim vezama između ugljikovih, vodikovih i kisikovih molekula, te prilikom pucanja veza sagorijevanjem, razgradnjom ili digestijom oslobađa se energija (McKendry, 2002). Danas kao obnovljiv izvor energije ima veliki potencijal za iskorištavanje i može pridonijeti zaštiti okoliša, otvaranju novih radnih mjesta i ukupnom gospodarskom razvitku zemlje (Sušnik i Benkovović, 2007).

Biomasa se može podijeliti na: drvnu biomasu (ostaci iz šumarstva, otpadno drvo), drvnu uzgojnu biomasu (brzorastuće drveće), nedrvnu uzgojnu biomasu (brzorastuće alge i trave), ostatak i otpad iz poljoprivrede, životinjski otpad i ostatak i gradski i industrijski otpad. Energija iz biomase dolazi u čvrstom, tekućem (biodizel, bioetanol, biometanol) i plinovitom stanju (bioplin, deponijski plin, plin iz rasplinjavanja biomase) (Šljivac i Šimić, 2009).

Prema Bilandžiji (2014) poljoprivrednu biomasu možemo podijeliti na:

- biomasu ratarske proizvodnje (sijeno, slama, stabljike, kukuruzovina, oklasak, ljuške ratarskih kultura),
- biomasu voćarsko vinogradarske proizvodnje (orezani ostatci trajnih nasada),
- biomasu iz prerade i dorade poljoprivrednih sirovina u prehrambenoj industriji (komina grožđa, komina masline, komina uljarica, koštice voća, ljuške jezgrićavog voća),
- biomasu iz povrćarstva i ukrasne hortikulture (otpad iz vrtova i parkova),
- biomasu stočarske proizvodnje (gnoj, gnojnica, klaonički otpad, otpad u ribarstvu, mesno-koštano brašno),
- biomasu kultura za proizvodnju energije na zasebno oformljenim nasadima (*Miscantus sp.*, *Arundo donax*, *Sudannian grass*, *Reed canary grass*).

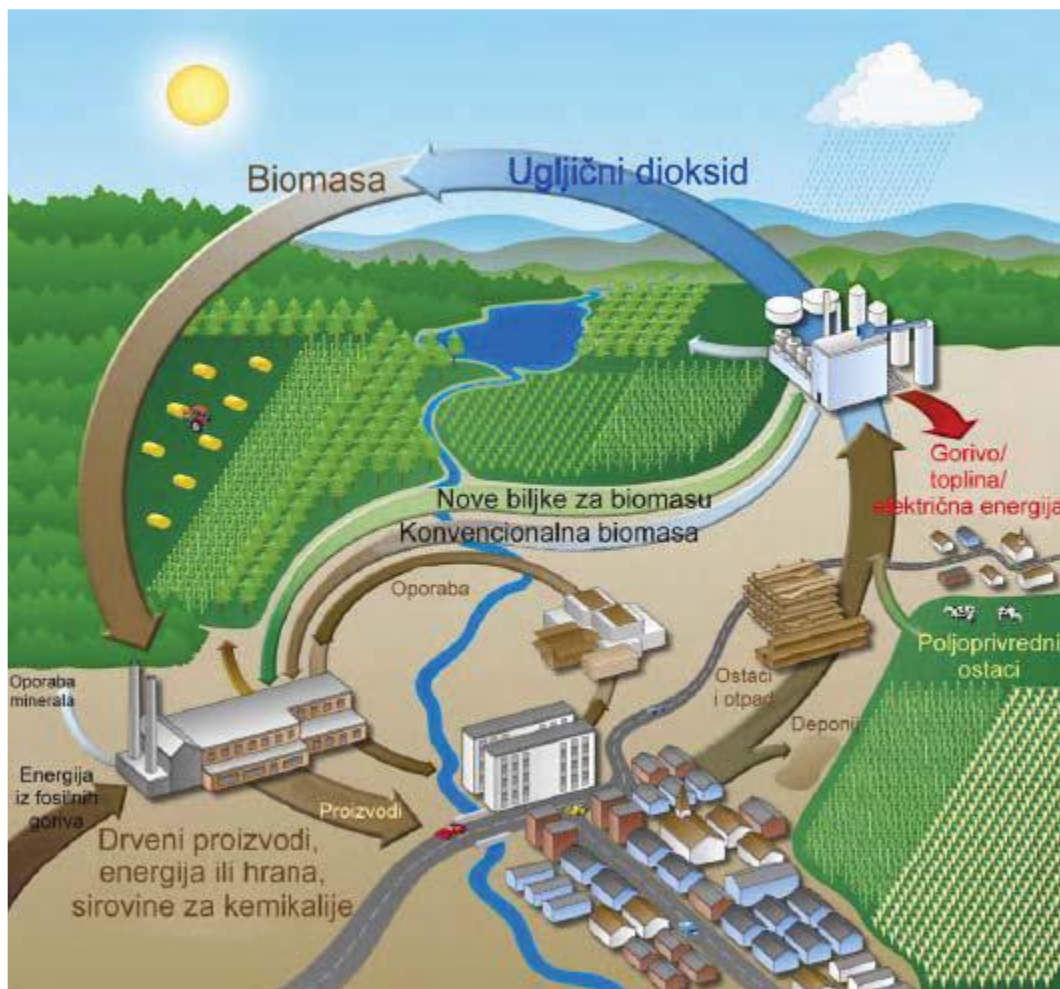
Povoljne karakteristike energetske nasade su visoki prinos, maksimalna proizvodnja suhe tvari po hektaru, niski unos energije za proizvodnju, niska cijena proizvodnje, niski zahtjevi za hranjivim tvarima (McKendry, 2002). Kod korištenja poljoprivrednih ostataka preporuča se maksimalno 30% od dostupne biomase koristiti u energetske svrhe, a ostalih 70% biomase potrebno je ostavljati na poljoprivrednim površinama zbog prirodnog obnavljanja organske tvari u tlu (Jovičić i sur., 2015).

Biomasa se može pomoću raznih procesa pretvoriti u korisne oblike energije. Izbor procesa ovisi o tipu, svojstvima i količini raspoložive biomase, željenom krajnjem obliku energije, standardima okoliša te isplativosti samog postupka. Najzastupljeniji oblici pretvorbe biomase u energiju su proces neposrednog izgaranja i proizvodnja tekućih biogoriva (Grubor i sur., 2015).

2.2.1. Prednosti korištenja biomase

Glavna prednost u korištenju biomase kao izvora energije su obilni potencijali biljke i otpadnih materijala u poljoprivrednoj i prehrambenoj industriji. Plinovi koji nastaju korištenjem biomase mogu se također iskoristiti u proizvodnji energije.

Prednost biomase u odnosu na fosilna goriva je i neusporedivo manja emisija štetnih plinova i otpadnih tvari. Opterećenje atmosfere s CO₂ je zanemarivo pri korištenju biomase kao goriva, budući da je količina emitiranog CO₂ prilikom izgaranja jednaka količini apsorbiranog CO₂ tijekom rasta biljke (slika 2.2.1.1.) (Šljivac i Šimić, 2009).



Slika 2.2.1.1. Kumulativna CO₂ neutralnost

Izvor: Šljivac i Šimić, 2009.

Jedna od glavnih prednosti korištenja biomase je zapošljavanje (otvaranje novih i zadržavanje postojećih radnih mjesta), povećanje lokalne i regionalne gospodarske aktivnosti, ostvarivanje dodatnog prihoda u poljoprivredi, šumarstvu i drvenoj industriji (Šljivac i Šimić, 2009).

Korištenjem biomase za dobivanje energije na ekološki prihvatljiv način se zbrinjava i iskorištava otpad i ostatak iz poljoprivrede, šumarstva i drvne industrije (Grubor i sur., 2015).

2.2.2. Konverzija biomase u energiju

Biomasa za proizvodnju energije se može dobiti iz uzgoja energetskih kultura, žetvom drugih kultura i sječom šuma, iz posliježetvenih ostataka, te iz otpada iz poljoprivrede, kućanstva i iz organskog industrijskog mulja (McKendry, 2002).

Biomasa može služiti za izravnu proizvodnju električne energije, te za proizvodnju krutih, tekućih i plinovitih goriva. Prema McKendryu (2002) tri su osnovna procesa konverzije biomase:

- Termokemijski procesi: izgaranje, piroliza, uplinjavanje i likvefakcija
- Biokemijski: alkoholna i anaerobna razgradnja
- Mehanička ekstrakcija s esterifikacijom

Čimbenici koji utječu na izbor postupka pretvorbe su: vrsta i količina biomase, željeni oblik energije, ekološki standardi, ekonomski uvjeti i čimbenici specifični za projekt (McKendry, 2002).

2.2.3. Piroliza

Piroliza je termokemijski proces, bez prisustva kisika, pri čemu razgradnjom biomase nastaju tekuće (bioulje), krute (biougljen) i plinovite frakcije. Temperatura pirolize biomase iznosi oko 500 °C (McKendry, 2002). Hlađenjem i kondenzacijom hlapljivih sastojaka nastaje bioulje (Murray i sur., 2014).

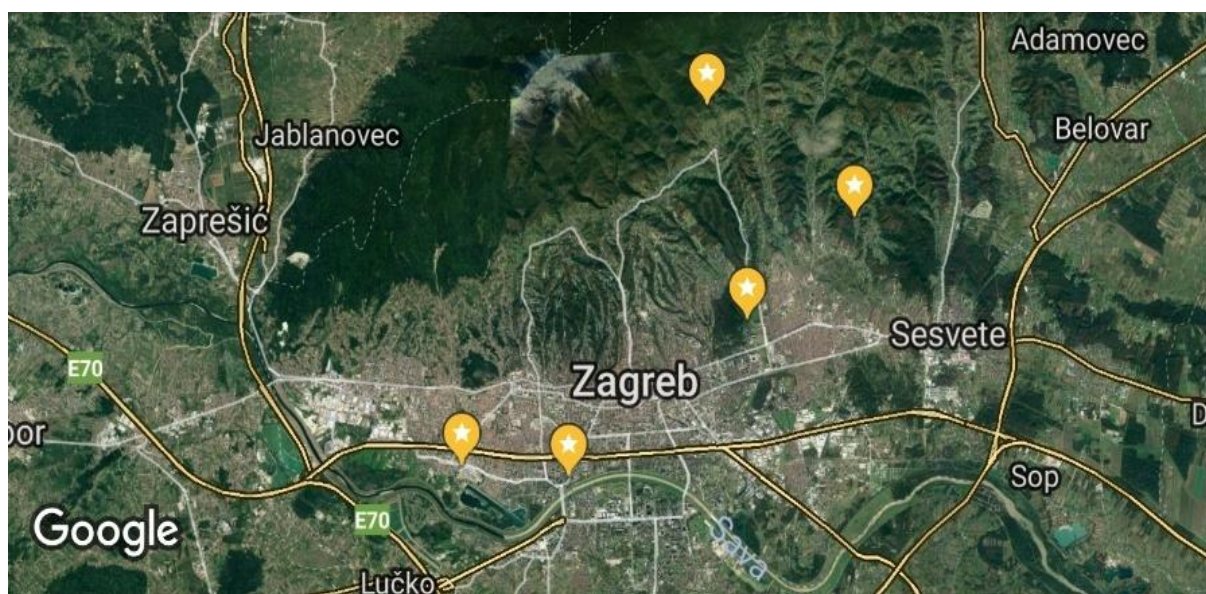
Biougljen je čvrsti ugljični proizvod koji je preostao od pirolize. Procesom spore pirolize do 35% biomase pretvara se u biougljen. U usporedbi s sporom pirolizom, koja daje visoki udio biougljena, brza piroliza stvara uglavnom bioulje, zajedno s malim količinama biougljena i plinova poput vodika, ugljičnog monoksida i ugljičnog dioksida. Do 75% korištene biomase pretvara se u bioulje, te se proizvodi oko 10-15% biougljena i 10-15% plinova (Murray i sur., 2014).

Bioulje je pogodnije za transport i skladištenje (Šljivac i Šimić, 2009). Može se koristiti u motorima i turbinama, a razmatra se i njegova upotreba kao sirovina za rafinerije. Problemi s procesom pretvorbe naknadnom uporabom ulja su slaba toplinska stabilnost i korozivnost (McKendry, 2002).

3. Materijali i metode

3.1. Materijali

U ovom radu provedeno je istraživanje na biomasi ambrozije. Prikupljanje materijala provedeno je na pet lokacija u Zagrebu (slika 3.1.1.). Materijali su prikupljeni na napuštenim zemljištima i uz puteve. Prva lokacija je podsljemenska zona gradske četvrti Markuševac (slika 3.1.3.). Druga lokacija je gradska četvrt Dubrava (slika 3.1.3.). Treća lokacija je park Maksimir u blizini Agronomskog fakulteta (slika 3.1.4.). Četvrta lokacija je Savski nasip (slika 3.1.2.) i peta lokacija je Jarun (slika 3.1.2.).



Slika 3.1.1. Karta s lokacijama prikupljanja materijala



Slika 3.1.2. Lokacija Savski nasip lijevo i Jarun desno



Slika 3.1.3. Lokacija Dubrava lijevo i Markuševac desno



Slika 3.1.4. Lokacija Maksimir

3.2. Metode

Nakon prikupljanja uzoraka provedeno je istraživanje u laboratoriju Zavoda za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta.

Standardnim metodama analiziran je udio suhe tvari, udio pepela, koksa i fiksiranog ugljika, udio hlapivih tvari, udio ugljika, vodika, dušika, udio sumpora. Nadalje, utvrđen je udio celuloze, hemiceluloze i lignina, te gornja ogrjevna vrijednost. Pirolizom uzoraka utvrđen je udio biougljena i bioulja.

Nakon analize biomase ambrozije, sastav biougljena dobiven pirolizom, analizirao se već navedenim standardnim metodama.

Analizama je prethodilo usitnjavanje uzoraka u laboratorijskom mlinu (IKA Analysentechnik GmbH) (slika 3.2.1.).



Slika 3.2.1. Laboratorijski mlin

3.2.1. Sadržaj vode

Uzorak biomase se suši pri temperaturi od 105°C u atmosferskom zraku do postizanja konstantne mase, sukladno standardnoj metodi CEN/TS 14774-2:2009

Prvo se važu prazne posudice, te se zatim u posude odvaže oko 1,5 g uzorka. Nakon toga se opet važu pune posudice i stavljaju na sušenje u sušnicu (INKO ST – 40, Hrvatska 2004.) (slika 3.2.1.1.). Uzorci se suše pri 105°C tijekom 4 sata, odnosno do konstantne mase, sukladno standardnoj metodi. Nakon sušenja posudice se stavljaju u eksikator kako bi se ohladile na sobnu temperaturu. Kada se uzorci ohlade ponovno se radi odvaga, nakon čega se računski odredi sadržaj vode u uzorku prema formuli:

$$w = \frac{a - b}{m} * 100$$

Pri čemu je:

w – udio vlage (%)

a – masa posudice s uzorkom prije sušenja (g)

b – masa posudice s uzorkom nakon sušenja (g)

m – masa uzorka (g)



Slika 3.2.1.1.Sušnica

3.2.2. Sadržaj pepela

Određivanje sadržaja pepela provodi se spaljivanjem uzorka u mufolnoj peći na 550°C sukladno standardnoj metodi. Pepeo je anorganski ostatak materijala nakon njegovog potpunog izgaranja. Potpunim izgaranjem uklanjaju se gorive tvari iz goriva i ostaje fiksirani ugljik i mineralna komponenta iz čije se mase može izračunati zastupljenost minerala u određenom gorivu.

U izvagane porculanske posudice stavlja se približno 2 g uzorka biomase ambrozije. Posudice s uzorkom stavljaju se u mufolnu peć (slika 3.2.2.1.) na temperaturu od 550°C u trajanju od pet i pol sati. Nakon toga, posudice se stavljaju na hlađenje u eksikator te slijedi računsko određivanje pepela, sukladno standardnoj metodi CEN/TS 14775:2009.



Slika 3.2.2.1.Mufolna peć

3.2.3. Sadržaj koksa

Sadržaj koksa određuje se sukladno standardnoj metodi u mufolnoj peći pri temperaturi od $900 \pm 10^\circ\text{C}$ u trajanju od 4 minute. Analiza koksa predstavlja proces u kojem na vrlo visokoj temperaturi dolazi do izgaranja gorivih tvari te ostaje koks.

U izvagane porculanske posudice izvaže se 1 g uzorka. Posudice se stavljaju u mufolnu peć, poklope se porculanskim poklopcem i uzorak se spaljuje 4 minute. Nakon toga, posudice se ponovno važu i razlika u masi predstavlja udio koksa sukladno standardnoj metodi CEN/TS 15148:2009.

3.2.4. Sadržaj fiksiranog ugljika

Fiksirani ugljik se odnosi na čvrstu frakciju koja ostaje nakon isparavanja hlapivih komponenti. Uglavnom se sastoji od ugljika, ali i određene količine vodika, kisika, sumpora i dušika. Količina fiksiranog ugljika određuje se matematički iz izračuna, tako da se od udjela koksa oduzme udio pepela sukladno standardnoj metodi CEN/TS 15148:2009.

3.2.5. Sadržaj hlapive tvari

Pojam hlapivih tvari odnosi se na komponente goriva koje se oslobađaju kada se gorivo zagrijava pri visokim temperaturama, ne isključujući vodenu paru. Hlapiva tvar sadrži zapaljive (C_xH_y plinovi, CO i H_2) i nezapaljive plinove (CO_2 , SO_2 i NO_x). Biomasa općenito ima vrlo visoki sadržaj hlapivih tvari, s vrijednostima oko 75%, ali one mogu narasti do 90%, ovisno o uzorku. Zbog visokog sadržaja hlapivih tvari biogoriva su lako zapaljiva čak i pri relativno niskim temperaturama, u usporedbi s nekim drugim fosilnim gorivima poput ugljena (Khan i sur., 2009).

Sadržaj hlapivih tvari određuje se računski tako da od udjela gorive tvari oduzmemo udio fiksiranog ugljika, sukladno standardnoj metodi CEN/TS 15148:2009.

3.2.6. Udio celuloze, hemiceluloze i lignina

Određivanje sadržaja celuloze, hemiceluloze i lignina provedeno je sukladno modificiranoj standardnoj metodi prema Antonović i sur. (2010). Prije određivanja samog sadržaja celuloze, hemiceluloze i lignina, potrebno je odrediti sadržaj ekstraktivnih tvari u uzorku izolacijom s otapalom prema metodi. Nakon ekstrakcije ekstraktivnih tvari određuje se sadržaj celuloze i lignina. Sadržaj hemiceluloze određuje se računski, na temelju dobivenih podataka za sadržaj celuloze i lignina, tako da se od sadržaja celuloze oduzme sadržaj lignina.

3.2.7. Ukupni ugljik, vodik, dušik, sumpor i kisik

Određivanje elementarnog sastava provedeno je sukladno standardnim metodama za ugljik, vodik i dušik (EN 15104:2011) te sumpor (EN 14918:2011)

metodom suhog spaljivanja na Vario Macro CHNS. Postupak se bazira na spaljivanju uzoraka u struji kisika na 1150°C uz prisutnost volfram (VI) oksida kao katalizatora. Prilikom sagorijevanja oslobađaju se plinovi NO_x, CO₂, SO₃ i H₂O. U redukcijskoj koloni, koja je zagrijana na 850°C, uz pomoć bakra kao redukcijskog sredstva, NO_x plinovi se reduciraju do N₂, a SO₃ plinovi do SO₂. Nastale N₂ plinove helij (plin nosilac) nosi direktno na detektor TCD (termo-vodljivi detektor). Dok ostali plinovi CO₂, H₂O i SO₂ prije dolaska na detektor prolaze kroz adsorpcijske kolone za CO₂, H₂O i SO₂. Sadržaj kisika dobije se računski iz formule:

$$\text{Kisik(\%)} = 100 - \text{C(\%)} - \text{H(\%)} - \text{N(\%)} - \text{S(\%)}$$

3.2.8. Ogrjevna vrijednost

Kalorimetrija je eksperimentalni postupak za određivanje gornje ogrjevne vrijednosti. Ogrjevna vrijednost određena je korištenjem standardne metode u adijabatskom kalorimetru (slika 3.2.8.1.). Gornja ogrjevna vrijednost (H_g) dobivena je korištenjem IKA C200 programskog paketa.

Rad kalorimetra temelji se na tome da se toplinska energija, koja se oslobađa pri izgaranju uzorka unutar kalorimetrijske bombe, utroši na povećanje temperature kalorimetrijske vode i kalorimetrijske bombe. Princip rada kalorimetra je adijabatski, što znači da je kalorimetrijski sustav uronjen u vanjsku vodenu kupelj, a izmijenjena toplina jednaka je ΔU jer je volumen kalorimetrijske bombe konstantan. Izgaranje se odvija u točno određenim uvjetima. optimalna temperatura pri kojoj se uzorak spaljuje je između 21 i 25°C.

Otpriblike dvije trećine posudice za analizu se napuni uzorkom i odvaži. Zatim se posudica položi u kalorimetrijsku bombu, a žarna nit se prethodno poveže sa uzorkom pomoću pamučnog končića. Bomba se zatvori te se na punjaču u nju upuše kisik pod tlakom od 30 bara. Potom se ulije oko 2 litre vodovodne vode u spremnik za vodu, pri čemu njena temperatura mora biti između 20-25°C. Bomba se postavi u kalorimetar na način da se smjesti na dno između tri pipca. Proces traje oko 15 minuta, tijekom kojih se sva oslobođena toplina prenosi na vodu koja se nalazi unutar kalorimetrijskog sustava. Gornja ogrjevna vrijednost ispisuje se na zaslonu u MJ/kg, a analiza je provedena sukladno standardnoj metodi EN 14918:2010.



Slika 3.2.8.1. Adijabatski kalorimetar

3.2.9. Piroliza

Proces pirolize odvijao se na temperaturi od 300°C – 500°C do prestanka izgaranja organske tvari. Za pirolizu korištena je tikvica s uzorkom, Leibigovo hladilo, lijevak za sakupljanje i Bunsenov plinski plamenik (slika 3.2.9.1.).

U tikvicu se odvažuje 10 grama uzorka. Tijekom pirolize dio uzorka u obliku hlapivih tvari ispari i u hladilu se kondenzira te se sakupi u lijevku u obliku bioulja, dok drugi dio uzorka ostane u tikvici kao biouglen. Dobiveni biouglen se dalje analizira.



Slika 3.2.9.1. Piroliza

3.2.10. Statistička analiza podataka

Nakon provedenih laboratorijskih analiza, rezultati su statistički obrađeni. Provedena je analiza varijance ANOVA sa mogućnošću 5% pogreške i LSD test. ANOVA je metoda kojom se uspoređuju aritmetičke sredine više uzoraka, te se rezultat označava F-omjerom. Ako je on statistički značajan tada se može odbaciti nulta hipoteza da se aritmetičke sredine između grupa statistički značajno ne razlikuju. Ukoliko postoji statistički značajna razlika u srednjoj vrijednosti provodi se LSD test kojim se može saznati između kojih parova dolazi do statistički značajne razlike.

4. Rezultati i rasprava

4.1. Rezultati analiza biomase

Sadržaj vode u biomasi je vrlo važan čimbenik jer utječe na energetska vrijednost goriva. Suha biomasa ima veću ogrjevnost vrijednost jer se ne troši energija na isparavanje. Sadržaj vlage u biomasi varira od 10% do 50% (Parmar, 2017). Prema Ross i sur. (2008) optimalni sadržaj vode kreće se između 10% i 15%.

O sadržaju vode ovisi kojom ćemo metodom dobiti energiju iz biomase. Za termičku obradu potrebna je sirovina s niskim sadržajem vlage (<50%), dok se za biokemijske procese mogu koristiti sirovine s visokim sadržajem vlage (McKendry, 2002). Tablica 4.1.1. prikazuje analizu varijanci ANOVA za sadržaj vode u svježem uzorku biomase.

Tablica 4.1.1. Analiza varijance za sadržaj vode u svježem uzorku

| Izvor varijabilnosti | df | SS | s ² | F _{exp} | F _{tab} |
|----------------------|----|--------|----------------|------------------|------------------|
| Između grupa | 4 | 210,91 | 52,73 | | |
| Unutar grupa | 10 | 24,45 | 2,45 | 21,56* | 0,05=3,48 |
| Ukupno | 14 | 235,37 | | | |

Prema dobivenim rezultatima postavljena hipoteza da se aritmetičke sredine između grupa statistički ne razlikuju mora se odbaciti. Razlika je signifikantna što se tvrdi sa 95% sigurnošću, te je potrebno provesti LSD test. Rezultati LSD testa prikazani su u tablici 4.1.2.

Tablica 4.1.2. LSD test za sadržaj vode u svježem uzorku

| Lokacija | Aritm.s./SD | LSD test |
|-----------------|-------------|-----------------------------------|
| 1. Markuševac | 59,09±6,89 | 1.-2.ns; 1.-3.ns; 1.-4.ns; 1.-5.* |
| 2. Dubrava | 58,50±0,64 | 2.-1.ns; 2.-3.ns; 2.-4.ns; 2.-5.* |
| 3. Maksimir | 61,08±4,08 | 3.-1.ns; 3.-2.ns; 3.-4.*; 3.-5.* |
| 4. Savski nasip | 57,33±0,30 | 4.-1.ns; 4.-2.ns; 4.-3.*; 4.-5.* |
| 5. Jarun | 67,87±0,31 | 5.-1.*; 5.-2.*; 5.-3.*; 5.-4.* |

Prema LSD testu postoje značajne razlike između lokacija Markuševac – Jarun, Dubrava – Jarun, Maksimir – Savski nasip, Maksimir – Jarun i Savski nasip - Jarun. Lokacija Jarun se značajno razlikuje od ostalih lokacija jer sadrži najveću količinu vode od 67,87%. Između ostalih lokacija nema značajne razlike. Sadržaj vode u biomasi kreće se od 57,33% s lokacije Savski nasip do 67,87% s lokacije Jarun, a srednja vrijednost iznosi 60,77%. Uzorci ambrozije imaju visoki sadržaj vode i zbog toga su nepovoljni za neposredno izgaranje.

Pepeo je anorganski dio goriva koji ostaje nakon potpunog izgaranja. Udio pepela može varirati od 1% do 40% (Garcia i sur., 2012). Prema Parmar (2017) drvo ima manje od 1% pepela, dok poljoprivredne kulture i ostaci sadržavaju visoki sadržaj pepela. Prema Francescato i sur. (2008) sadržaj pepela u poljoprivrednoj biomasi kreće se od 2% do 25%. Supstance koje čine pepeo nemaju nikakvu ogrjevnu vrijednost (Šljivac i Šimić, 2009). Poželjan je što niži udio pepela u sirovini. U Tablici 4.1.3. prikazana je analiza varijanci ANOVA za sadržaj pepela u suhoj tvari.

Tablica 4.1.3. Analiza varijance za sadržaj pepela u suhoj tvari

| Izvor varijabilnosti | df | SS | s ² | F _{exp} | F _{tab} |
|----------------------|----|------|----------------|------------------|------------------|
| Između grupa | 4 | 4,47 | 1,12 | | |
| Unutar grupa | 10 | 0,68 | 0,068 | 16,42* | 0,05=3,48 |
| Ukupno | 14 | 5,15 | | | |

Prema dobivenim rezultatima postavljena hipoteza da se aritmetičke sredine između grupa statistički ne razlikuju mora se odbaciti. Razlika je signifikantna što se tvrdi sa 95% sigurnošću, te je potrebno provesti LSD test. Rezultati LSD testa prikazani su u tablici 4.1.4.

Tablica 4.1.4. LSD test sadržaja pepela u suhoj tvari biomase

| Lokacija | Aritm.s./SD | LSD test |
|-----------------|-------------|---------------------------------|
| 1. Markuševac | 10,61±0,03 | 1.-2.*; 1.-3.ns; 1.-4.*; 1.-5.* |
| 2. Dubrava | 11,52±0,10 | 2.-1.*; 2.-3.*; 2.-4.ns; 2.-5.* |
| 3. Maksimir | 10,79±0,03 | 3.-1.ns; 3.-2.*; 3.-4.*; 3.-5.* |
| 4. Savski nasip | 11,34±0,03 | 4.-1.*; 4.-2.ns; 4.-3.*; 4.-5.* |
| 5. Jarun | 12,14±0,15 | 5.-1.*; 5.-2.*; 5.-3.*; 5.-4.* |

Prema dobivenim rezultatima LSD testa postoji značajna razlika između lokacija, osim između lokacija Markuševac – Maksimir i Dubrava – Savski nasip. Srednja vrijednost sadržaja pepela uzoraka je 11,28% što je prilično visoki postotak. Visok postotak pepela najčešće je primjećen kod izgaranja poljoprivredne biomase (2% - 25%). Visok udio pepela biomase ujedno znači i manju ogrjevnu vrijednost, a dovodi i do povećanja emisije čestica što se svakako želi izbjeći. Uzorak Jarun s 12,14% ima najveći sadržaj pepela, dok uzorak Markuševac s 10,61% sadrži najmanje pepela. Sadržaj pepela u uzorcima je puno viši naspram nekih drugih kultura. U istraživanju kod Bilandžije (2014), sadržaj pepela kod kulture *Miscanthus x giganteus* iznosi 4,72%. S gledišta pepela svi uzorci su nepovoljniji za neposredno izgaranje, dok je najnepovoljniji s čak 12,14 % pepela, uzorak s lokacije Jarun.

Koks predstavlja sekundarni ugljen koji nastaje pri višim temperaturama. Ostatak je suhe destilacije i njegovim povećanjem povećava se kvaliteta goriva (Mohan i sur., 2006). Tablica 4.1.5. prikazuje test analize varijanci ANOVA za sadržaj koksa u suhoj tvari.

Tablica 4.1.5. Analiza varijance za sadržaj koksa u suhoj tvari

| Izvor varijabilnosti | df | SS | s ² | F _{exp} | F _{tab} |
|----------------------|----|-------|----------------|------------------|------------------|
| Između grupa | 4 | 29,10 | 7,27 | | |
| Unutar grupa | 10 | 29,63 | 2,96 | 2,45ns | 0,05=3,48 |
| Ukupno | 14 | 58,73 | | | |

Prema dobivenim rezultatima postavljena hipoteza da se aritmetičke sredine između grupa statistički ne razlikuju, može se potvrditi. Razlika nije signifikantna što se tvrdi sa 95% sigurnošću. Analiza je pokazala da ne postoji značajna signifikantna razlika između lokacija, stoga nije potrebno provoditi LSD test.

Tablica 4.1.6. Sadržaj koksa u suhoj tvari

| Lokacija | Aritm.s./SD |
|--------------|-------------|
| Markuševac | 15,68±0,12 |
| Dubrava | 18,82±10,02 |
| Maksimir | 16,93±0,52 |
| Savski nasip | 19,09±2,48 |
| Jarun | 16,11±1,68 |

Tablica 4.1.6. prikazuje srednje vrijednosti sadržaja koksa analiziranih uzoraka biomase ambrozije. Srednja vrijednost udjela koksa analiziranih uzoraka iznosi 17,62%. Raspon sadržaja koksa se kreće od 15,68% kod uzorka Markuševac do 19,09% kod uzorka Savski nasip što predstavlja veliku razliku između uzoraka. Analizom biomase *Miscanthus x giganteus* kod Bilandžije i sur. (2014.), prosječni udio koksa u kulturama iznosio je 16,51%. Prema tome istraživana biomasa ambrozije ima povoljne količine koksa za proizvodnju energije, jer samo jedan uzorak (uzorak Markuševac) ima nešto manju vrijednost koksa (15,68%) naspram kulture *Miscanthus x giganteus* koja se uzgaja specifično za proizvodnju energije.

Sadržaj fiksiranog ugljika predstavlja, uz pepeo, kruti ostatak nakon gorenja odnosno ispuštanja hlapivih tvari (Jurišić i sur., 2016). Povećanjem fiksiranog ugljika povećava se ogrjevna vrijednost, čime se poboljšava kvaliteta biomase (Filipčić, 2018). Tablica 4.1.7. prikazuje analizu varijanci ANOVA za sadržaj fiksiranog ugljika.

Tablica 4.1.7. Analiza varijance za sadržaj fiksiranog ugljika

| Izvor varijabilnosti | df | SS | s ² | F _{exp} | F _{tab} |
|----------------------|----|-------|----------------|------------------|------------------|
| Izmeđugrupa | 4 | 29,24 | 7,31 | | |
| Unutargrupa | 10 | 28,66 | 2,87 | 2,55ns | 0,05=3,48 |
| Ukupno | 14 | 57,90 | | | |

Prema dobivenim rezultatima postavljena hipoteza da se aritmetičke sredine između grupa statistički ne razlikuju može se potvrditi. Razlika nije signifikantna što se može potvrditi sa 95% sigurnošću. Analiza je pokazala da nema signifikantne razlike između uzoraka, stoga nije potrebno provesti LSD test.

Tablica 4.1.8. Sadržaj fiksiranog ugljika

| Lokacija | Aritm.s./SD |
|--------------|-------------|
| Markuševac | 5,07±0,28 |
| Dubrava | 7,30±8,87 |
| Maksimir | 6,13±0,38 |
| Savski nasip | 7,74±2,40 |
| Jarun | 3,97±2,39 |

Tablica 4.1.8. prikazuje sadržaj fiksiranog ugljika u uzorcima biomase ambrozije na različitim lokacijama. Najveći udio fiksiranog ugljika ima uzorak Savski nasip sa 7,74%, dok najmanji udio ima uzorak Jarun sa 3,97%. Srednja vrijednost uzoraka iznosi 6,04%, što je znatno manje u usporedbi sa stabljikom pšenice koja sadrži 21% fiksiranog dušika, stabljikom ječma koja sadrži 18% fiksiranog ugljika i drvenom biomasom koja sadrži 17% fiksiranog ugljika (McKendry, 2002). Fiksirani ugljik predstavlja količinu ugljika vezanog u biomasi fotosintetskim postupkom. Što je veći udio vezanog ugljika to je veća kvaliteta biomase zbog veće ogrjevne vrijednosti. Fiksirani ugljik stvara ugljen i sagorijeva kao čvrst materijal u sustavu izgaranja (Bilandžija i sur., 2017). Najpovoljniji uzorak za dobivanje energije je uzorak Dubrava zbog najvećeg sadržaja fiksiranog ugljika. S gledišta fiksiranog ugljika, vrlo niske vrijednosti zabilježene kod biomase ambrozije upućuju da su prikupljeni uzorci nepovoljni za neposredno izgaranje.

Hlapive tvari su komponente koje se oslobađaju pri visokim temperaturama (McKendry, 2002). Biomasa ima visoki postotak hlapivih tvari, do 80%, a goriva koja imaju visoki sadržaj hlapivih tvari imaju manju energetska vrijednost (Jurišić i sur., 2016). Kod visokog sadržaja hlapivih tvari biomasa je lako zapaljiva već i pri relativno niskim temperaturama, za razliku od fosilnih goriva (Garcia i sur., 2012). Tablica 4.1.9. prikazuje analizu varijanci ANOVA za sadržaj hlapivih tvari u biomasi.

Tablica 4.1.9. Analiza varijance hlapivih tvari

| Izvor varijabilnosti | df | SS | s ² | Fexp | Ftab |
|----------------------|----|-------|----------------|--------|-----------|
| Između grupa | 4 | 29,89 | 7,47 | | |
| Unutar grupa | 10 | 31,61 | 3,16 | 2,36ns | 0,05=3,48 |
| Ukupno | 14 | 61,50 | | | |

Prema dobivenim rezultatima postavljena hipoteza da se aritmetičke sredine između grupa statistički ne razlikuju može se potvrditi. Razlika nije signifikantna što se može potvrditi sa 95% sigurnošću. Analiza je pokazala da nema signifikantne razlike između uzoraka, stoga nije potrebno provesti LSD test.

Tablica 4.1.10. Sadržaj hlapivih tvari

| Lokacija | Aritm.s./SD |
|--------------|-------------|
| Markuševac | 74,30±1,02 |
| Dubrava | 71,97±8,43 |
| Maksimir | 71,61±1,25 |
| Savski nasip | 70,11±2,69 |
| Jarun | 70,92±2,40 |

Sadržaj hlapivih tvari u uzorcima biomase ambrozije sa različitih lokacija prikazan je u tablici 4.1.10. Raspon udjela hlapivih tvari u uzorcima iznosi od 70,11% (Savski nasip) do 74,30% (Markuševac). Srednja vrijednost sadržaja hlapivih tvari u uzorcima iznosi 71,78% što predstavlja veliki sadržaj hlapivih tvari naspram slame tritikale sa 34,62% (Grubor i sur., 2015). Prema istraživanju Bilandžije 2014., Udio hlapivih tvari kod kulture *Miscantus x giganteus* u rasponu je od 76,72% do 79,92%, što je nešto veći postotak od istraživanih uzoraka ambrozije. Uzorci ambrozije imaju visoki sadržaj hlapivih tvari, što je povoljno za dobivanje sintetskog plina procesom pirolize (Bilandžija i sur., 2017). Najpovoljniji je uzorak s lokacije Jarun sa 69,45% hlapivih tvari.

Biomasa sadrži različite količine celuloze, hemiceluloze i lignina, te male količine ostalih komponenti (lipida, proteina, jednostavnih šećera i škroba). Odnos celuloze i lignina je jedan od bitnijih čimbenika za određivanje pogodnosti određene biljne vrste za proizvodnju energije (McKendry, 2002). Poželjan je što niži udio celuloze i hemiceluloze u biomasi u procesu izgaranja. Biomasa s većim sadržajem lignina pogodnija je za procese neposrednog izgaranja (Grubor i sur., 2015).

Tablica 4.1.11. Udio celuloze, lignina i hemiceluloze

| | Celuloza (%) | Lignin (%) | Hemiceluloza (%) |
|--------------|--------------|------------|------------------|
| Markuševac | 30,87 | 24,16 | 17,70 |
| Dubrava | 27,54 | 27,16 | 13,84 |
| Maksimir | 28,44 | 24,81 | 15,79 |
| Savski nasip | 25,28 | 27,46 | 13,15 |
| Jarun | 25,66 | 28,29 | 16,90 |

Tablica 4.1.11. prikazuje udio celuloze, hemiceluloze i lignina u uzorcima biomase ambrozije sa različitih lokacija. Udio celuloze u uzorcima ambrozije u rasponu iznosi od 25,28% kod uzorka sa lokacije Savski nasip do 30,87% sa lokacije Markuševac a srednja vrijednost uzoraka iznosi 27,56%. Prosječni udjeli celuloze za slamu pšenice iznosi 45 – 50%, te za drvenu biomasu 40-50% (McKendry, 2002). Uzorak Markuševac je najnepovoljniji za neposredno izgaranje zbog visokog sadržaja celuloze.

Udio lignina najviši je kod uzorka Jarun s 28,29%, dok je najmanji kod uzorka Markuševac sa 24,16%, te se prema tome može zaključiti da su uzorci sa lokacije Jarun najpovoljniji za neposredno izgaranje. Srednja vrijednost uzoraka iznosi 26,38%. Kod drugih autora, utvrđeni su udjeli lignina 15-20% za pšenicu te 20-25% za drvenu biomasu (McKendry, 2002).

Udio hemiceluloze se kreće u rasponu od 13,15% kod uzorka sa lokacije Savski nasip do 17,70% kod uzorka s lokacije Markuševac koji je zbog visokog sadržaja hemiceluloze najnepovoljniji za neposrednog izgaranje. Srednja vrijednost udjela hemiceluloze u uzorcima iznosi 15,48%. Drvna biomasa sadrži udio hemiceluloze od 25% do 30%, a pšenica sadrži 20-25% hemiceluloze (McKendry, 2002).

Osnovni element biomase je ugljik koji čini od 30 do 60% suhe tvari, ovisno o sadržaju pepela (Jenkins i sur., 1998). Veći sadržaj ugljika povećava energetska vrijednost biomase. Ugljik se u biomasi ne nalazi slobodan, već u organskim spojevima sa kisikom, vodikom, dušikom i sumporom. Prilikom izgaranja ugljik se veže sa kisikom i pritom daje znatne količine toplinske energije. Kod potpunog izgaranja, ako se izgaranje odvija uz dovoljnu količinu kisika, oslobađa se CO₂ (Šilić i sur., 2012). Tablica 4.1.12. prikazuje analizu varijanci ANOVA za sadržaj ugljika u biomasi.

Tablica 4.1.12. Analiza varijance za sadržaj ugljika

| Izvor varijabilnosti | df | SS | s ² | F _{exp} | F _{tab} |
|----------------------|----|-------|----------------|------------------|------------------|
| Između grupa | 4 | 65,30 | 16,32 | | |
| Unutar grupa | 5 | 1,92 | 0,38 | 42,58* | 0,05=5,19 |
| Ukupno | 9 | 67,21 | | | |

Prema dobivenim rezultatima postavljena hipoteza da se aritmetičke sredine između grupa statistički ne razlikuju mora se odbaciti. Razlika je signifikantna što se tvrdi sa 95% sigurnošću, te je potrebno provesti LSD test. Rezultati LSD testa prikazani su u tablici 4.1.13.

Tablica 4.1.13. LSD test za sadržaj ugljika

| Lokacija | Aritm.s./SD | LSD test |
|-----------------|-------------|---------------------------------|
| 1. Markuševac | 61,68±0,01 | 1.-2.*; 1.-3.*; 1.-4.ns; 1.-5.* |
| 2. Dubrava | 64,99±0,01 | 2.-1.*; 2.-3.*; 2.-4.*; 2.-5.* |
| 3. Maksimir | 57,51±0,58 | 3.-1.*; 3.-2.*; 3.-4.*; 3.-5.ns |
| 4. Savski nasip | 61,41±0,00 | 4.-1.ns; 4.-2.*; 4.-3.*; 4.-5.* |
| 5. Jarun | 59,00±1,31 | 5.-1.*; 5.-2.*; 5.-3.ns; 5.-4.* |

Prema dobiveni rezultatima LSD testa postoji značajna razlika između lokacija, osim između lokacija Markuševac – Savski nasip i Maksimir – Jarun. U istraživanju najveći postotak ugljika ima uzorak s lokacije Dubrava sa 64,99%, dok najmanji postotak od 57,51% ima uzorak s lokacije Maksimir. Srednja vrijednost udjela ugljika u uzorcima iznosi 62,92%. U istraživanju Bilandžije (2014) na kulturi *Miscantus x giganteus* postotak ugljika iznosio je od 48,55% do 48,72%. Sadržaj ugljika kod drvene biomase iznosi 51,6%, te kod pšenice 48,5% (McKendry, 2002). Prema navedenim kulturama ambrozija ima znatno veći sadržaj ugljika, te je zbog tog pogodna za proizvodnju energije, a najpovoljniji je uzorak sa lokacije Dubrava.

Vodik je, uz ugljik, osnovna sastavnica gorive tvari (Šilić i sur, 2012). Prema Jenkinsu biomasa sadrži 5 - 6% vodika. Većim sadržajem vodika povećava se energetska vrijednost (Parmar, 2017). U gorivu vodik može biti slobodan, u obliku ugljikovodika i vezan u vodi (Šilić i sur., 2012). Tablica 4.1.14. prikazuje analizu varijanci ANOVA za sadržaj vodika u biomasi.

Tablica 4.1.14. Analiza varijance za sadržaj vodika

| Izvor varijabilnosti | df | SS | s ² | Fexp | Ftab |
|----------------------|----|------|----------------|--------|-----------|
| Između grupa | 4 | 2,61 | 0,65 | | |
| Unutar grupa | 5 | 0,20 | 0,04 | 16,35* | 0,05=5,19 |
| Ukupno | 9 | 2,80 | | | |

Prema dobivenim rezultatima postavljena hipoteza da se aritmetičke sredine između grupa statistički ne razlikuju mora se odbaciti. Razlika je signifikantna što se tvrdi sa 95% sigurnošću, te je potrebno provesti LSD test. Rezultati LSD testa prikazani su u tablici 4.1.15.

Tablica 4.1.15. LSD test za sadržaj vodika

| Lokacija | Aritm.s./SD | LSD test |
|-----------------|-------------|----------------------------------|
| 1. Markuševac | 5,37±0,03 | 1.-2.*; 1.-3.*; 1.-4.*; 1.-5.ns |
| 2. Dubrava | 6,54±0,15 | 2.-1.*; 2.-3.ns; 2.-4.ns; 2.-5.* |
| 3. Maksimir | 6,18±0,00 | 3.-1.*; 3.-2.ns; 3.-4.ns; 3.-5.* |
| 4. Savski nasip | 6,49±0,00 | 4.-1.*; 4.-2.ns; 4.-3.ns; 4.-5.* |
| 5. Jarun | 5,42±0,02 | 5.-1.ns; 5.-2.*; 5.-3.*; 5.-4.* |

Prema LSD testu postoje značajne razlike između lokacija Markuševac – Dubrava, Markuševac – Maksimir, Markuševac – Savski nasip gdje lokacija Markuševac ima najmanji sadržaj vodika, te Dubrava – Jarun, Maksimir – Jarun i Savski nasip – Jarun gdje Savski nasip ima najmanji sadržaj vodika.

Sadržaj vodika analiziranih uzoraka ambrozije kreće se u rasponu od 5,37% (Markuševac) do 6,54% (Dubrava), a srednja vrijednost udjela vodika iznosi 6,00%. Prema Parmaru (2017) Miscantus sadrži 5,8% vodika. Udio vodika kod drvene biomase iznosi 6,3%, te kod pšenice 5,5% (McKendry, 2002). Analizirani uzorci ambrozije imaju nešto veći sadržaj vodika od kultura Miscantus i pšenice, ali niži sadržaj od drvene biomase. Uzorak sa lokacije Dubrava je najpovoljniji za dobivanje energije zbog najvećeg sadržaja vodika.

Dušik je makronutrijent koji je važan za rast biljke (Jenkins i sur., 1998). Sadržaj dušika u biomasi varira od 0,2% do više od 1% (Parmer, 2017). Tijekom izgaranja dušik se oslobađa u elementarnom stanju i ponaša se kao inertni sastojak, što znači da niti izgara niti daje toplinu. Negativno utječe na aktivnost elemenata s kojima je u spoju te smanjuje ogrjevnu vrijednost. Može stvarati nepoželjne dušikove okside NO_x koji onečišćuju okoliš (Šilić i sur., 2012). Tablica 4.1.16. prikazuje analizu varijanci ANOVA za sadržaj dušika u biomasi.

Tablica 4.1.16. Analiza varijance za sadržaj dušika

| Izvor varijabilnosti | df | SS | s ² | F _{exp} | F _{tab} |
|----------------------|----|------|----------------|------------------|------------------|
| Između grupa | 4 | 4,60 | 1,15 | | |
| Unutar grupa | 5 | 0,34 | 0,07 | 17,05* | 0,05=5,19 |
| Ukupno | 9 | 4,94 | | | |

Prema dobivenim rezultatima postavljena hipoteza da se aritmetičke sredine između grupa statistički ne razlikuju mora se odbaciti. Razlika je signifikantna što se tvrdi sa 95% sigurnošću, te je potrebno provesti LSD test. Rezultati LSD testa prikazani su u tablici 4.1.17.

Tablica 4.1.17. LSD test za sadržaj dušika

| Lokacija | Aritm.s./SD | LSD test |
|-----------------|-------------|----------------------------------|
| 1. Markuševac | 7,55±0,11 | 1.-2.*; 1.-3.*; 1.-4.ns; 1.-5.* |
| 2. Dubrava | 8,85±0,07 | 2.-1.*; 2.-3.ns, 2.-4.*; 2.-5.ns |
| 3. Maksimir | 8,36±0,10 | 3.-1.*; 3.-2.ns; 3.-4.ns; 3.-5.* |
| 4. Savski nasip | 7,91±0,03 | 4.-1.ns; 4.-2.*; 4.-3.ns; 4.-5.* |
| 5. Jarun | 9,47±0,04 | 5.-1.*; 5.-2.ns; 5.-3.*; 5.-4.* |

Prema dobivenim rezultatima LSD testa postoji značajna razlika između lokacija Markuševac – Dubrava, Markuševac – Maksimir, Markuševac – Jarun, Dubrava – Savski Nasip, Maksimir – Jarun i Savski nasip – Jarun.

Dušik u ispitivanim uzorcima ambrozije varira od 7,55% s lokacije Markuševac do 9,47% sa lokacije Jarun. Srednja vrijednost svih uzoraka iznosi 8,43%. Sadržaj dušika kod kulture Miscanthus iznosi 0,5%, pšenice 0,3%, te drvne biomase oko 0% (McKendry, 2002). Naspram drugih kultura ispitana ambrozija sadrži velike količine dušika što joj smanjuje ogrjevnu vrijednost, a najnepovoljniji je uzorak sa lokacije Jarun zbog najveće količine dušika.

Većina goriva iz biomase sadrži manje od 0,2% sumpora, osim nekoliko izuzetaka sa višom količinom od 0,5% - 0,7% (Parmer, 2017). Sumpor u gorivu može biti goriv i negoriv. Goriv sumpor je obično vezan za organsku tvar ili je u spoju s metalima. Negorivi sumpor stabilno je vezan u formi kalcijeva sulfata koji tijekom i nakon izgaranja ostaje uglavnom u pepelu (Šilić i sur., 2012). Sumporni oksidi (SO_x) nastaju tijekom izgaranja i utječu na onečišćenje okoliša. Budući da biomasa ima mali udio sumpora njezino izgaranje značajno ne doprinosi emisijama sumpora. Tablica 4.1.18. prikazuje analizu varijanci ANOVA za sadržaj sumpora u biomasi.

Tablica 4.1.18. Analiza varijance za sadržaj sumpora

| Izvor varijabilnosti | df | SS | s^2 | F_{exp} | F_{tab} |
|----------------------|----|------|-------|-----------|-----------|
| Između grupa | 4 | 0,01 | 0,003 | | |
| Unutar grupa | 5 | 0,05 | 0,010 | 0,29ns | 0,05=5,19 |
| Ukupno | 9 | 0,06 | | | |

Prema dobivenim rezultatima postavljena hipoteza da se aritmetičke sredine između grupa statistički ne razlikuju može se potvrditi. Razlika nije signifikantna što se može potvrditi s 95% sigurnošću. Analiza je pokazala da nema signifikantne razlike između uzoraka, stoga nije potrebno provesti LSD test.

Tablica 4.1.19. Sadržaj sumpora

| Lokacija | Aritm.s./SD |
|--------------|-------------|
| Markuševac | 0,31±0,02 |
| Dubrava | 0,34±0,01 |
| Maksimir | 0,38±0,01 |
| Savski nasip | 0,29±0,00 |
| Jarun | 0,30±0,01 |

U analiziranim uzorcima nalazi se veći sadržaj sumpora u rasponu od 0,29% (lokacija Savski nasip) do 0,38% (lokacija Maksimir). Srednja vrijednost udjela sumpora u uzorcima iznosi 0,32%, što je znatno veće u usporedbi sa Miscanthusom, pšenicom i drvnom biomasom koji imaju 0,1% sumpora ili manje (McKendry, 2002).

Prema Jenkinsu i sur. (1998) sadržaj kisika u biomasi iznosi od 30% do 40%. Prisutnost kisika u gorivu je nepoželjna jer kisik ne gori, već sudjeluje u izgaranju. Najčešće se nalazi u spojevima s drugim elementima i čini ih negorivima, pa zato smanjuje učinak gorivih elemenata s kojima je u spoju što rezultira smanjenjem ogrjevne vrijednosti goriva (Šilić i sur., 2012). Tablica 4.1.20. prikazuje analizu varijanci ANOVA za sadržaj kisika u biomasi.

Tablica 4.1.20. Analiza varijance za sadržaj kisika

| Izvor varijabilnosti | df | SS | s ² | Fexp | Ftab |
|----------------------|----|-------|----------------|--------|-----------|
| Između grupa | 4 | 78,04 | 19,51 | | |
| Unutar grupa | 5 | 1,13 | 0,23 | 86,36* | 0,05=5,19 |
| Ukupno | 9 | 79,17 | | | |

Prema dobivenim rezultatima postavljena hipoteza da se aritmetičke sredine između grupa statistički ne razlikuju mora se odbaciti. Razlika je signifikantna što se tvrdi sa 95% sigurnošću, te je potrebno provesti LSD test. Rezultati LSD testa prikazani su u tablici 4.1.21.

Tablica 4.1.21. LSD test za sadržaj kisika

| Lokacija | Aritm.s./SD | LSD test |
|-----------------|-------------|----------------------------------|
| 1. Markuševac | 25,11±0,16 | 1.-2.*; 1.-3.*; 1.-4.ns; 1.-5.ns |
| 2. Dubrava | 19,29±0,00 | 2.-1.*; 2.-3.*; 2.-4.*; 2.-5.* |
| 3. Maksimir | 27,58±0,41 | 3.-1.*; 3.-2.*; 3.-4.*; 3.-5.* |
| 4. Savski nasip | 23,92±0,01 | 4.-1.ns; 4.-2.*; 4.-3.*; 4.-5.* |
| 5. Jarun | 25,83±0,00 | 5.-1.ns; 5.-2.*; 5.-3.*; 5.-4.* |

Prema dobivenim rezultatima LSD testa postoji značajna razlika između lokacija, osim između lokacija Markuševac – Savski nasip i Markuševac – Jarun.

Sadržaj kisika u uzorcima varira u rasponu od 19,29% (Dubrava) do 27,58% (Maksimir), a srednja vrijednost uzoraka iznosi 24,35% kisika. Sadržaj kisika kod kulture *Miscanthus* iznosi 43%, pšenice 44,5% (Parmer, 2017), a kod drvene biomase 41,5% (McKendry, 2002). Prema navedenim kulturama ispitani uzorci ambrozije imaju znatno niži sadržaj kisika, te je prema tome ambrozija bolja sirovina za procese izgaranja.

Ogrjevna vrijednost goriva predstavlja količinu topline koja se razvija pri potpunome izgaranju jedinice količine goriva (Šilić i sur., 2012). Tablica 4.1.22. prikazuje analizu varijanci ANOVA za ogrjevnu vrijednost biomase.

Tablica 4.1.22. Analiza varijance za ogrjevnu vrijednost

| Izvor varijabilnosti | df | SS | s ² | F _{exp} | F _{tab} |
|----------------------|----|------|----------------|------------------|------------------|
| Između grupa | 4 | 6,41 | 1,60 | | |
| Unutar grupa | 10 | 0,68 | 0,07 | 23,42* | 0,05=5,19 |
| Ukupno | 14 | 7,09 | | | |

Prema dobivenim rezultatima postavljena hipoteza da se aritmetičke sredine između grupa statistički ne razlikuju mora se odbaciti. Razlika je signifikantna što se tvrdi s 95% sigurnošću, te je potrebno provesti LSD test. Rezultati LSD testa prikazani su u tablici 4.1.23.

Tablica 4.1.23. LSD test za ogrjevnu vrijednost

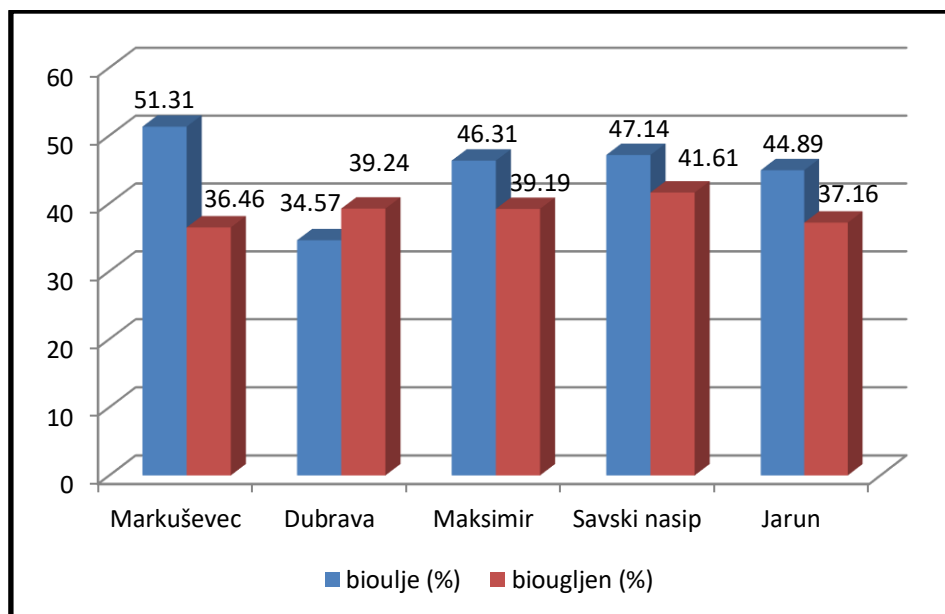
| Lokacija | Aritm.s./SD | LSD test |
|-----------------|-------------|-----------------------------------|
| 1. Markuševac | 16,60±0,00 | 1.-2.ns; 1.-3.ns; 1.-4.*; 1.-5.ns |
| 2. Dubrava | 16,27±0,28 | 2.-1.ns; 2.-3.ns, 2.-4.*; 2.-5.ns |
| 3. Maksimir | 16,49±0,02 | 3.-1.ns; 3.-2.ns; 3.-4.*; 3.-5.ns |
| 4. Savski nasip | 14,83±0,05 | 4.-1.*; 4.-2.*; 4.-3.*; 4.-5.* |
| 5. Jarun | 16,42±0,00 | 5.-1.ns; 5.-2.ns; 5.-3.ns, 5.-4.* |

Prema dobivenim rezultatima LSD testa nema značajnih razlika između lokacija, osim između lokacija Markuševac – Savski nasip, Dubrava – Savski nasip, Maksimir – Savski nasip i Jarun – Savski nasip, jer lokacija Savski nasip najviše odskaače od ostalih rezultata.

Srednja ogrjevna vrijednost biomase ambrozije iznosi 16,12 MJ/kg. Najmanju ogrjevnu vrijednost ima biomasa ambrozije sa lokacije Savski nasip (14,83 MJ/kg), dok najveću ogrjevnu vrijednost ima biomasa ambrozije sa lokacije Markuševac (16,6 MJ/kg). U istraživanju koje je proveo Bilandžija (2014) *Miscanthus x giganteus* ima gornju ogrjevnu vrijednost 18 MJ/kg koja je nešto viša u odnosu na ispitane uzorke biomase ambrozije. Slama pšenice (24,72 MJ/kg), ječma (25,35 MJ/kg), zobi (25,70MJ/kg) i tritikala (24,87 MJ/kg), iz istraživanja Grubor i sur. (2015) također imaju više gornje ogrjevne vrijednosti. Najpovoljniju ogrjevnu vrijednost ima uzorak Markuševac.

4.2. Produkti pirolize

Piroliza je termokemijska pretvorba biomase u plin (nekondenzirajući), tekuću (bioulje) i čvrstu tvar (biougljen) (Jurišić i sur., 2016). Nakon analiza biomase proveli smo pirolizu svakog uzorka. Pirolizom smo dobili bioulje i biougljen, a dobiveni biougljen smo dalje analizirali prethodno navedenim analizama.



Slika 4.2.1. Udio bioulja i biougljena

Slika 4.2.1. prikazuje udio bioulja i biougljena u uzorcima. Podjednake su količine dobivenog bioulja i biougljena u većini uzoraka, osim uzorka Dubrava, gdje je dobiveno više bioulja nego biougljena. Mogući razlog različitosti uzorka Dubrava, osim same lokacije je da uzorak nije do kraja izgorio ili je došlo do greške kod vaganja. Prosječni sadržaj bioulja iznosi 44,84%. Najviše bioulja pirolizom se dobilo od biomase sa lokacije Markuševac (51,31%), a najmanje od biomase sa lokacije Dubrava (34,57%). Prosječni sadržaj biougljena iznosi 38,73%. Najviše biougljena dobiveno je pirolizom biomase sa lokacije Savski nasip (41,61%), a najmanje sa lokacije Markuševac (36,46%). Prema istraživanju Kontek (2016), pirolizom kulture *Miscanthus x giganteus* udio biougljena iznosi 25,9%, a bioulja 36,9%, a kod kulture *Sida hermaphrodita* udio biougljena iznosi 27,7% i bioulja 29,9%. Obzirom na navedene kulture rezultati pirolize, odnosno udio biougljena i bioulja, kod ambrozije su povoljni i uočen je potencijal za daljnja pirolitička i energetska istraživanja.

4.3. Rezultati analize biougljena

Nakon pirolize provedene su analize sadržaja pepela, koksa, fiksiranog ugljika, hlapivih tvari i ogrjevne vrijednosti na dobivenom biougljenu. Pretpostavka za energetska iskoristivost biougljena su niski sadržaj pepela i fiksiranog ugljika, visoki sadržaj koksa te visoka gornja ogrjevna vrijednost (Jurišić i sur., 2017).

Tablica 4.3.1. Analiza varijance za sadržaj pepela u biougljenu

| Izvor varijabilnosti | Df | SS | s ² | Fexp | Ftab |
|----------------------|----|--------|----------------|--------|-----------|
| Između grupa | 4 | 273,31 | 68,33 | | |
| Unutar grupa | 5 | 5,06 | 1,01 | 67,48* | 0,05=5,19 |
| Ukupno | 9 | 278,38 | | | |

Prema dobivenim rezultatima u tablici 4.3.1. postavljena hipoteza mora se odbaciti. Razlika je signifikantna što se tvrdi s 95% sigurnošću, te je potrebno provesti LSD test. Rezultati LSD testa prikazani su u tablici 4.3.2.

Tablica 4.3.2. LSD test za sadržaj pepela u biougljenu

| Lokacija | Aritm.s./SD | LSD test |
|-----------------|-------------|-----------------------------------|
| 1. Markuševac | 28,74±0,01 | 1.-2.ns; 1.-3.ns; 1.-4.*; 1.-5.ns |
| 2. Dubrava | 29,56±0,09 | 2.-1.ns; 2.-3.ns, 2.-4.*; 2.-5.ns |
| 3. Maksimir | 29,26±0,02 | 3.-1.ns; 3.-2.ns; 3.-4.*; 3.-5.ns |
| 4. Savski nasip | 42,46±4,90 | 4.-1.*; 4.-2.*; 4.-3.*; 4.-5.* |
| 5. Jarun | 30,20±0,05 | 5.-1.ns; 5.-2.ns; 5.-3.ns, 5.-4.* |

Prema dobivenim rezultatima LSD testa nema značajnih razlika između lokacija, osim između lokacije Savsi nasip sa ostalim lokacijama, jer se lokacija Savski nasip najviše razlikuje od ostalih sa sadržajem pepela od 42,46%. Srednja vrijednost pepela u biougljenu iznosi 32,04%. Navedeni rezultat predstavlja visok udio pepela u biougljenu što smanjuje ogrjevnu vrijednost analiziranog biougljena. Većina uzoraka ima oko 29% pepela, osim uzorka sa lokacije Savski nasip koji ima znatno više, odnosno 42,56% pepela. U istraživanju Kontek (2016), biougljen kulture *Miscanthus x giganteus* sadrži 3,20% pepela, te kulture *Sida hermaphrodita* 4,50% pepela. Slama ječma i tritikale imaju nešto veće sadržaje pepela u biougljenu, od 12,64% za ječam i 16,53% za tritikale (Grubor i sur., 2015). Prema navedenim postocima drugih kultura ispitivani uzorci ambrozije imaju iznimno visok sadržaj pepela, te su zbog toga nepovoljniji za dobivanje energije.

Tablica 4.3.3. Analiza varijance za sadržaj koksa u biougljenu

| Izvor varijabilnosti | df | SS | s ² | Fexp | Ftab |
|----------------------|----|-------|----------------|--------|-----------|
| Između grupa | 4 | 47,86 | 11,96 | | |
| Unutar grupa | 5 | 16,67 | 3,33 | 3,59ns | 0,05=5,19 |
| Ukupno | 9 | 64,53 | | | |

Prema dobivenim rezultatima iz tablice 4.3.3. postavljena hipoteza može se potvrditi. Razlika nije signifikantna što se može potvrditi sa 95% sigurnošću. Analiza je pokazala da nema signifikantne razlike između uzoraka, stoga nije potrebno provesti LSD test.

Tablica 4.3.4. Sadržaj koksa u biougljenu

| Lokacija | Aritm.s./SD |
|--------------|-------------|
| Markuševac | 64,86±3,33 |
| Dubrava | 64,04±0,05 |
| Maksimir | 62,04±9,33 |
| Savski nasip | 68,60±2,23 |
| Jarun | 66,18±1,73 |

Sadržaj koksa u biougljenu prikazan je u tablici 4.3.4. Visoki sadržaj koksa povoljan je za veću ogrjevnu vrijednost. Udio koksa u uzorcima nalazi se u rasponu od 62,40% (Maksimir) do 68,60% (Savski nasip). Srednja vrijednost uzoraka iznosi 65,22%. Prema istraživanju Grubor i sur. (2015), biougljen pšenice sadrži 16,20% koksa, a tritikala 34,76% koksa. Sadržaj koksa u ispitivanim uzorcima je poprilično visok, naspram navedenih kultura, što je pogodno za ogrjevnu vrijednost biougljena.

Tablica 4.3.5. Analiza varijance za sadržaj fiksiranog ugljika u biougljenu

| Izvor varijabilnosti | df | SS | s ² | Fexp | Ftab |
|----------------------|----|--------|----------------|--------|-----------|
| Između grupa | 4 | 138,49 | 34,62 | | |
| Unutar grupa | 5 | 14,52 | 2,90 | 11,92* | 0,05=5,19 |
| Ukupno | 9 | 153,02 | | | |

Prema dobivenim rezultatima u tablici 4.3.5. postavljena hipoteza mora se odbaciti. Razlika je signifikantna što se tvrdi sa 95% sigurnošću, te je potrebno provesti LSD test. Rezultati LSD testa prikazani su u tablici 4.3.6.

Tablica 4.3.6. LSD test za sadržaj fiksiranog ugljika u biougljenu

| Lokacija | Aritm.s./SD | LSD test |
|-----------------|-------------|-----------------------------------|
| 1. Markuševac | 36,12±3,75 | 1.-2.ns; 1.-3.ns; 1.-4.*; 1.-5.ns |
| 2. Dubrava | 34,48±0,28 | 2.-1.ns; 2.-3.ns, 2.-4.*; 2.-5.ns |
| 3. Maksimir | 32,79±8,53 | 3.-1.ns; 3.-2.ns; 3.-4.*; 3.-5.ns |
| 4. Savski nasip | 26,04±0,74 | 4.-1.*; 4.-2.*; 4.-3.*; 4.-5.* |
| 5. Jarun | 35,98±1,22 | 5.-1.ns; 5.-2.ns; 5.-3.ns, 5.-4.* |

Prema dobivenim rezultatima LSD testa nema značajnih razlika između lokacija, osim između lokacije Savski most sa ostalim lokacijama.

Poželjne su manje količine fiksiranog ugljika u gorivima. Najveći udio fiksiranog ugljika sadrži uzorak Markuševac sa 36,12%, a najmanji uzorak Savski nasip sa 26,04%. Aritmetička sredina sadržaja fiksiranog ugljika u ispitivanim uzorcima iznosi 33,08%. U istraživanju Kontek (2016) biougljen kulture *Miscanthus x giganteus* sadrži 59,20% fiksiranog ugljika, a kulture *Sida hermaphrodita* 49,90% fiksiranog ugljika. Prema analizama Grubor i sur. (2015) biougljen zobi sadrži 5,27%, a tritikale 13,49%. Udio fiksiranog ugljika ispitivanih uzorka je visok naspram zobi i tritikala, ali je niži od

kultura *Miscanthus x giganteus* i *Sida hermaphrodita*. Najpovoljniji je uzorak Savski nasip zbog najmanje količine fiksiranog ugljika.

Tablica 4.3.7. Analiza varijance za sadržaj hlapivih tvari u biougljenu

| Izvor varijabilnosti | df | SS | s ² | Fexp | Ftab |
|----------------------|----|-------|----------------|--------|-----------|
| Između grupa | 4 | 43,60 | 10,90 | | |
| Unutar grupa | 5 | 20,04 | 4,01 | 2,72ns | 0,05=5,19 |
| Ukupno | 9 | 63,64 | | | |

Prema dobivenim rezultatima iz tablice 4.3.3. postavljena hipoteza može se potvrditi. Razlika nije signifikantna što se može potvrditi s 95% sigurnošću. Analiza je pokazala da nema signifikantne razlike između uzoraka, stoga nije potrebno provesti LSD test.

Tablica 4.3.7. Sadržaj hlapivih tvari u biougljenu

| Lokacija | Aritm.s./SD |
|--------------|-------------|
| Markuševac | 35,14±3,33 |
| Dubrava | 35,96±0,05 |
| Maksimir | 37,06±12,70 |
| Savski nasip | 31,41±2,23 |
| Jarun | 33,82±1,73 |

U tablici 4.3.7. prikazani su udjeli hlapivih tvari ispitanih uzoraka. Udio hlapivih tvar u uzorcima se kreće od 31,41% kod uzorka Savski nasip do 37,06% kod uzorka Maksimir. Srednja vrijednost svih uzoraka iznosi 34,68%. U istraživanju Grubor i sur. (2015) udio hlapive tvari kod slame pšenice iznosi 40,07%, slame ječma 37,11%, slame zobi 48,83% i slame tritikale 50,31%. U usporedbi s navedenim kulturama, biougljen ispitanih uzoraka ima nešto niži sadržaj hlapivih tvari, što je povoljnije za dobivanje energije iz biomase, a najpovoljniji je uzorak s lokacije Savski nasip.

Tablica 4.3.8. Analiza varijance za ogrjevnu vrijednost biougljena

| Izvor varijabilnosti | df | SS | s ² | Fexp | Ftab |
|----------------------|----|-------|----------------|--------|-----------|
| Između grupa | 4 | 12,58 | 3,14 | | |
| Unutar grupa | 10 | 1,08 | 0,11 | 29,30* | 0,05=3,48 |
| Ukupno | 14 | 13,65 | | | |

Prema dobivenim rezultatima u tablici 4.3.8. postavljena hipoteza mora se odbaciti. Razlika je signifikantna što se tvrdi sa 95% sigurnošću, te je potrebno provesti LSD test. Rezultati LSD testa prikazani su u tablici 4.3.9.

Tablica 4.3.9. LSD test za ogrjevnu vrijednost biougljena

| Lokacija | Aritm.s./SD | LSD test |
|-----------------|-------------|----------------------------------|
| 1. Markuševac | 21,57±0,09 | 1.-2.*; 1.-3.*; 1.-4.*; 1.-5.* |
| 2. Dubrava | 20,25±0,42 | 2.-1.*; 2.-3.ns; 2.-4.*; 2.-5.ns |
| 3. Maksimir | 20,34±0,00 | 3.-1.*; 3.-2.ns; 3.-4.*; 3.-5.ns |
| 4. Savski nasip | 18,69±0,02 | 4.-1.*; 4.-2.*; 4.-3.*; 4.-5.* |
| 5. Jarun | 20,15±0,00 | 5.-1.*; 5.-2.ns; 5.-3.ns; 5.-4.* |

Prema dobivenim rezultatima LSD testa postoji značajna razlika između lokacija, osim između lokacija Dubrava – Maksimir, Dubrava – Jarun i Maksimir – Jarun.

Prosječna ogrjevna vrijednost uzoraka iznosi 20,02 MJ/kg, što uzorke čini boljim energentom po jedinici mase od ulazne sirovine biomase ambrozije. Najveću ogrjevnu vrijednost ima uzorak sa lokacije Markuševac i iznosi 21,57 MJ/Kg, a najmanju sa lokacije Savski nasip i iznosi 18,69 MJ/kg. Ogrjevna vrijednost biougljena pšenice, iz istraživanja Grubor i sur. (2015), iznosi 24,72 MJ/kg, ječma 25,35 MJ/kg, zobi 25,70 MJ/Kg, te tritikala 24,87 MJ/kg. Prema navedenim kulturama, biougljen ambrozije ima niže ogrjevne vrijednosti, što ga čini manje kvalitetnim gorivom u usporedbi s biougljenom drugih kultura.

5. Zaključak

Na temelju provedenih analiza provedenih na biomasi ambrozije sa pet različitih lokacija, te na temelju analize biougljena dobivenog pirolizom uzoraka može se zaključiti sljedeće:

- Analizom biomase i biougljena ambrozije sa različitih lokacija nema prevelikih odstupanja između uzoraka, osim kod udjela pepela biougljena gdje uzorak Savski nasip odskaka od ostalih uzoraka s puno višim vrijednostima.
- Za biomasu dobivene su prosječne vrijednosti za sadržaj vode od 60,44%, sadržaj pepela 11,28%, sadržaj koksa 17,62, fiksiranog ugljika 6,04%, sadržaj hlapivih tvari 71,78%, ugljika 62,92%, vodika 6,00%, dušika 8,43%, sumpora 0,32%, kisika 24,35%, te sadržaja celuloze 27,56%, hemiceluloze 15,48% i lignina 26,38%. Prosječna ogrjevna vrijednost za uzorke iznosi 16,12 MJ/kg.
- Biomasa ima povoljan sadržaj koksa i hlapivih tvari, ali previsok sadržaj vode, pepela i niski sadržaj fiksiranog ugljika. Lignocelulozni sastav ambrozije je povoljan jer ima povoljne količine lignina i nema previsoki sadržaj celuloze. Što se tiče elementarnog sastava biomase, uzorci ambrozije imaju povoljan sadržaj ugljika i vodika, ali previsoki sadržaj dušika.
- Pirolizom je prosječno dobiveno 44,84% bioulja i 38,73% biugljena. Ambrozija ima povoljne rezultate za proces pirolize.
- Za biougljen, dobivene su prosječne vrijednosti za sadržaj pepela 32,04%, sadržaj koksa 65,22%, sadržaj fiksiranog ugljika 33,08%, a sadržaj hlapivih tvari 34,68%. Prosječna ogrjevna vrijednost za uzorke iznosi 20,02 MJ/kg.
- Biougljen ima povoljan sadržaj koksa, fiksiranog ugljika i hlapivih tvari, ali ima previsok udio pepela.
- Biougljen je bolji energent po jedinici mase od ulazne sirovine, odnosno biomase ambrozije zbog veće ogrjevne vrijednosti.

Prema navedenim podacima, biomasa ambrozije je dobra sirovina za proces neposrednog izgaranja osim iz aspekta početne vlage i visokog udjela pepela te bi bilo preporučljivo njenu biomasu iskoristiti na neki drugi način. No, s obzirom na ostale prikazane rezultate, kao i na udio biougljena i bioulja, biomasa ambrozije bi se mogla koristiti u u procesima dobivanja energije, posebice u procesu pirolize. Ovu vrstu biomase, trebalo bi dodatno istražiti, kako bi se pronašao optimalan način pretvorbe u energiju, obzirom da rezultati ovog istraživanja pokazuju da potencijal postoji.

6. Literatura

1. Antonović A., Jambrečević V., Franjić J., Španić, N., Pervan, S., Ištvančić, J., Bubić, A. (2010). Influence of sampling location on content and chemical composition of the beech native lignin (*Fagus sylvatica* L.). *Periodicum Biologorum*, 112: 327-332
2. Baček I., Hanaček K., Kanjir I. (2012). Karakterizacija gorivih svojstva trave *Miscanthus x giganteus* uzgojene u Republici Hrvatskoj. Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Zagreb
3. Bilandžija N. (2014). Perspektiva i potencijal korištenja kulture *Miscanthus x giganteus* u Republici Hrvatskoj. *Inženjerstvo okoliša* 2(1): 1-87
4. Bilandžija N., Leto J., Kiš D., Jurišić V., Matin A., Kuže I. (2014). The impact of harvest timing on properties of *Miscanthus x giganteus* biomass as a CO₂ neutral energy source. *Collegium antropologicum*. 38 (1): 85-20
5. Bilandžija N., Jurišić V., Voća N., Leto J., Matin A., Sito S., Kricka T. (2017). Combustion properties of *Miscanthus x giganteus* biomass – Optimization of harvest time. *Journal of the Energy Institute* 90 (4): 528-533
6. Directive 2003/30/EC of the European parliament and of the council (2003). Official Journal of the European Union
7. Filipčić P. (2018). Korištenje biomase invazivne biljne vrste japanski dvornik (*Reynoutria japonica*) u proizvodnji energije. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Zagreb
8. Fistić T. (2015). Utjecaj peludi ambrozije na kvalitetu života senzibilne osobe. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Medicinski fakultet, Zagreb
9. Francescato V., Antonini G., Bergomi L.L. (2008). Priručnik o gorivima iz drvene biomase. Regionalna energetska agencija sjeverozapadne Hrvatske
10. Gajnik D. (2008). Ambrozija Zagrebačkoj županiji i gradu Zagrebu. *Zdravlje u Zagrebačkoj županiji*. 16(4): 1-16
11. Gajnik D., Peternel R. (2009). Methods of intervention in the control of ragweed spread (*Ambrosia artemisiifolia* L.) in the area of Zagreb county and the city of Zagreb. *Coll. Atropol.* 33(4): 1289-1294
12. Galzina N., Barić K., Šćešanić M., Goršić M., Ostojić Z. (2010). Distribution of invasive weed *Ambrosia artemisiifolia* L. in Croatia. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 75 (2): 75-81
13. Garcia R., Pizzaro C., Lavin A.G., Bueno J.L. (2012). Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. *Bioresource technology* 103: 245-258
14. Gradski ured za zdravstveni rad i socijalnu skrb (2005). Zagreb
15. Grgić S. (2014). Morfološka obilježja i značaj roda *Ambrosia* u Republici Hrvatskoj. Završni rad. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Fakultet Agrobiotehničkih znanosti Osijek
16. Grubor M., Krička T., Voća N., Jurišić V., Bilandžija N. (2015). Iskoristivost slame žitarica za proizvodnju zelene energije. *Krmiva* 57:63-68
17. Jenkins B.M., Baxter L.L., Miles Jr. T.R., Miles T.R. (1998). Combustion properties of biomass. *Fuel processing technology* 54: 17-56

18. Jovičić N., Matin A., Kalambura S. (2015). Energetski potencijal biomase pira. *Krmiva* 57: 23-28
19. Jurišić V., Krička T., Matin A., Bilandžija N., Antonović A., Voća N., Torić T. (2016). Proizvodnja energije i proizvoda dodane vrijednosti pirolizom koštice trešnje i višnje. *Zbornik radova 51. hrvatskog i 11. međunarodnog simpozija agronoma*, 475-479
20. Jurišić V., Voća N., Bilandžija N., Krička T., Antonović A., Grubor M., Matin A., Kontek M. (2017). Pirolitička svojstva važnijih energetskih kultura u RH. *Zbornik radova 52. hrvatskog i 12. međunarodnog simpozija agronoma*, Dubrovnik, 651-655
21. Khan A. A., de Jong W., Jansens P.J., Spliethoff H. (2009). Biomass combustion in fluidised bed boilers: potential problems and remedies. *Fuel Process. Technol.* 90: 21-50
22. Kontek M. (2016). Pirolitička svojstva važnijih poljoprivrednih energetskih kultura. *Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Zagreb*
23. *Kratki vodič o Europskoj uniji – 2020*
https://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/hr/FTU_2.4.9.pdf (pristupljeno 13.03.2020.)
24. McKendry P. (2002). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology* 83: 37-46
25. McKendry P. (2002). Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. *Bioresource technology*, 83(1): 47-54
26. Mohan A., Pittman C.U., Steele P.H. (2006) Pyrolysis of wood biomass for bio-oil: a critical review. *Energy & fuel* 20 (3): 848-889
27. Murray T., Resende F., Luo G. (2014). Bio-oil: an introduction to fast pyrolysis and its applications. *Washington State University*
28. Nikolic T. (2022). *Flora Croatica Database. University of Zagreb, Faculty of Science, Department of Botany. Zagreb, Croatia*
29. Novak N., Kravaršćan M. (2011). *Invazivne strane korovne vrste u Republici Hrvatskoj. Hrvatski centar za poljoprivredu, hranu i selo, Zagreb*
30. Pagliarini C. (2011). Ambrozija – horor za peludne alergičare. *Poljoprivredni glasnik* 4: 9-10
31. Parmar K. (2017). Biomass – an overview on composition characteristics and properties. *IRA-International Journal of Applied Sciences* 7(1), 42-51
32. Peternel R. (2011). Utjecaj sezonskih fluktacija i prostorne raspodjele peludnog spektra na učestalost peludnih alergija u Zagrebu i Zagrebačkoj županiji. *Disertacija. Sveučilište u Zagrebu, Medicinski fakultet, Zagreb*
33. Radojčić N. (2014). Rasprostranjenost, polinacija i suzbijanje ambrozije (*Ambrosia artemisiifolia* L.) – na području grada Vukovara. *Specijalistički rad. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Fakultet Agrobiotehničkih znanosti Osijek*
34. Ross C.J. (2008). Biomass drying and dewatering for clean heat and power. *Northwest CPH application center, USA*
35. Sabo I. (2014). Morfološka obilježja ambrozije (*Ambrosia artemisiifolia* L.) različitih europskih populacija. *Diplomski rad. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Fakultet Agrobiotehničkih znanosti, Osijek*

36. Sušnik H., Benković Z. (2007). Energetska strategija Republike Hrvatske u kontekstu održivog razvitka šumarstva i poljoprivrede. Zbornik radova. Hrvatska gospodarska komora, Osijek: 11-18
37. Šilić Đ., Stojković V., Mikulić D. (2012). Goriva i maziva. Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica
38. Šljivac D., Šimić (2009). Obnovljivi izvori energije – najvažnije vrste, potencijal i tehnologija. Ministarstvo rada, gospodarstva i poduzetništva. Zagreb
39. Toth I., Peternel R., Gajnik D., Vojniković B. (2011). Micro-regional hypersensitivity variations to inhalant allergens in the city of Zagreb and Zagreb county. Coll. Antropol. 35(2): 31-37
40. Vlaović S. (2016). Ambrozija (*Ambrosia artemisiifolia* L.) – invazivna i alergena biljka. Završni rad. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Ffakultet Agrobiotehničkih znanosti, Osijek
41. <http://www.plivazdravlje.hr/aktualno/clanak/30114/Alergijski-rinitis-i-ambrozija.html#39479> (pristupljeno 7.8.2018.)
42. <https://www.hzjz.hr/author/abarisin/> (pristupljeno 8.8.2018.)
43. <http://www.plivazdravlje.hr/aktualno/clanak/31045/Alergija-na-pelud.html> (pristupljeno 13.08.2018.)
44. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2007_07_72_2244.html (Pristupljeno 18.08.2018.)

7. Životopis

Paulina Šerkinić rođena je u Zagrebu 17.svibnja 1993. Osnovnoškolsko obrazovanje završila je u osnovnoj školi Jordanovac u Zagrebu 2008. godine. Nakon osnovne škole upisuje Prirodoslovnu školu Vladimira Preloga, smjer ekološki tehničar. Nakon završetka srednje škole, 2012. godine, upisuje preddiplomski studij agroekologije na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Završava preddiplomski studij 2015. godine i iste godine upisuje diplomski studij agroekologije, usmjerenje mikrobna biotehnologija u poljoprivredi na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.