

Energetski potencijal biomase pajasena (*Ailanthus altissima*)

Budimir, Ana

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:204:425021>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-04**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

**ENERGETSKI POTENCIJAL BIOMASE PAJASENA
(*Ailanthus altissima*)**

DIPLOMSKI RAD

Ana Budimir

Zagreb, listopad, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

Diplomski studij:
Agroekologija - Agroekologija

**ENERGETSKI POTENCIJAL BIOMASE PAJASENA
(*Ailanthus altissima*)**

DIPLOMSKI RAD

Ana Budimir

Mentor: prof. dr. sc. Neven Voća

Zagreb, listopad, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZJAVA STUDENTA
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, Ana Budimir, JMBAG 0011153532, rođena 30.06.1991. u Splitu, izjavljujem da sam samostalno izradila diplomski rad pod naslovom:

ENERGETSKI POTENCIJAL BIOMASE PAJASENA (*Ailanthus altissima*)

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedina autorica 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 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 Ane Budimir, JMBAG 0011153532, naslova

ENERGETSKI POTENCIJAL BIOMASE PAJASENA (*Ailanthus altissima*)

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 svim profesorima Agronomskog fakulteta u Zagrebu na prenesenom znanju tijekom studiranja na diplomskom studiju.

Veliko hvala djelatnicima Zavoda za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport Agronomskog fakulteta u Zagrebu na pomoći i savjetima pri izradi diplomskog rada.

Posebno hvala mojoj obitelji na razumijevanju, podršci i povjerenju koje su mi ukazali, te mojim dragim prijateljima.

Sadržaj

1. Uvod	1
1.1 Cilj istraživanja	2
2. Pregled literature	3
2.1. Energija – obnovljivi izvori energije.....	3
2.2. Biomasa	5
2.2.1. Termokemijska konverzija biomase.....	7
2.2.2. Piroliza	7
2.2.3. Prednosti i nedostaci biomase kao ekološkog goriva	10
2.3. Invazivne strane biljne vrste.....	11
2.4. Pajasen (<i>Ailanthus altissima</i> , Mill.)	12
2.4.1. Morfologija	13
2.4.2. Korištenje	15
2.4.3. Unos u Europu i Ameriku	15
2.4.4. Rasprostranjenost	15
2.4.5. Metode kontrole i iskorjenjivanja	17
3. Materijali i metode.....	19
3.1. Materijali	19
3.2. Metode	22
3.2.1. Priprema	22
3.2.2. Određivanje sadržaja vode.....	23
3.2.3. Određivanje sadržaja pepela.....	23
3.2.4. Određivanje sadržaja koksa	24
3.2.5. Određivanje sadržaja fiksiranog ugljika	25
3.2.6. Određivanje sadržaja hlapivih tvari.....	25
3.2.7. Određivanje sadržaja celuloze, lignina i hemiceluloze.....	25
3.2.8. Određivanje ogrjevne vrijednosti.....	25

3.2.9. Određivanje sadržaja biougljena i bioulja pirolizom.....	26
4. Rezultati i rasprava	28
5. Zaključak	46
6. Literatura	47
7. Životopis.....	51

Sažetak

Diplomskog rada studentice Ane Budimir, naslova

ENERGETSKI POTENCIJAL BIOMASE PAJASENA (*Ailanthus altissima*)

Upotrebom biomase se dobiva energija, također se na ekološko prihvatljiv način zbrinjava i iskorištava otpad i ostatak iz poljoprivrede, šumarstva i prerade drva. U Republici Hrvatskoj preporuka je da se maksimalno 30% od potencijalno dostupne biomase može koristiti u energetske svrhe, a ostalih 70% posto biomase potrebno je ostavljati na poljoprivrednim površinama zbog prirodnog obnavljanja organske tvari u tlu.

Veliki problem predstavljaju invazivne strane vrste koje svojim širenjem narušavaju biološku raznolikost. Jedna od njih je i biljna vrsta pajasen [*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle], koja je jedna od najopasnijih invazivnih drvenastih biljaka kako u svijetu, tako i u Hrvatskoj. Vrlo je agresivna i prilagodljiva vrsta i pogubno djeluje na domaću floru.

Cilj ovog rada je bio istražiti mogućnosti korištenja ostataka ove invazivne vrste nakon uklanjanja iz prirode mehaničkim putem, te procesom izgaranja njegove biomase ispitati njegov energetski potencijal i mogućnost korištenja biomase u energetske svrhe.

Sukladno dobivenim rezultatima analiza, može se zaključiti da pajasen nudi mogućnost iskorištenja u energetske svrhe.

Ključne riječi: *biomasa, energija, invazivne vrste, Ailanthus altissima, izgaranje*

Summary

Of the master's thesis – student Ana Budimir, entitled

ENERGY POTENTIAL OF BIOMASS OF TREE OF HEAVEN (*Ailanthus altissima*)

Using biomass, energy is obtained, it is also an environmentally friendly way of managing waste and residues from agriculture, forestry and wood processing. In the Republic of Croatia, it is recommended that up to 30% of potentially available biomass can be used for energy purposes, while the remaining 70% of biomass should be left on the agricultural field due to the natural renewal of organic soil.

Large problems are foreign invasive species that are rapidly spreading and damaging biodiversity. One of them is the plant species called the tree of heaven (*Ailanthus altissima*), which is one of the most dangerous and invasive in the world, and Croatia. It is a very aggressive and adaptable species, which has a detrimental effect on domestic flora.

The goal of this research was to explore the possibilities of using remains of this invasive species after removing it from nature and combusting its biomass to examine its energy potential and the possibility of using biomass for energy purposes.

According to the results of the analysis, it can be concluded that the *Ailanthus altissima* offers the possibility of utilization for energy purposes.

Keywords: *biomass, energy, invasive species, Ailanthus altissima, combusting*

1. Uvod

Jedna od stalnih i nužnih potreba današnjeg čovjeka jest potreba za energijom. Fosilna goriva (ugljen, nafta, zemni plin) neobnovljiv su izvor energije, pa ih je zbog trošenja sve manje. Fosilno gorivo napretkom tehnologije dobiva na važnosti do te mjere da su promjene u njegovoj opskrbi ili podizanje cijena uzrokovale poremećaje u cjelokupnim nacionalnim gospodarstvima. Sve veće onečišćenje okoliša uzrokovano korištenjem fosilnih goriva i svijest o potrebi za održivim načinima gospodarenja, uz probleme koji su se pojavili u poljoprivredi, dovelo je do spoznaje da je potrebno razvijati i koristiti obnovljive izvore energije (Čakija, 2007.).

Energetska kriza, uslijed nekontroliranog rasta cijene naftnih derivata, jedna je od najozbiljnijih prijetnji održivosti ljudske vrste. Značajno povećanje sadržaja CO₂ u atmosferi, prvenstveno uslijed izgaranja fosilnih goriva, u značajnoj mjeri doprinosi i samom efektu globalnog zagrijavanja. Stoga je neophodno istražiti moguće alternativne izvore energije koji bi znatno smanjili emisiju CO₂ (Bilandžija i sur., 2013.).

U Strategiji energetskog razvoja RH biomasa ima istaknuto mjesto kao obnovljivi izvor od kojeg se u bližoj budućnosti očekuje naročito značajni doprinos. Korištenje energije biomase, osim što omogućava učinkovito zbrinjavanje otpada te proizvodnju energije uz minimalan utjecaj na okoliš, pruža i mogućnost za otvaranje većeg broja novih radnih mjesta, te pridonosi razvoju ruralnog prostora te stvaranju socijalno prihvatljivog okruženja na tim prostorima. Prema istraživanjima austrijske udruge za biomasu, 15 puta više radnih mjesta osigurava se pri korištenju drva kao energenta u odnosu na fosilne izvore energije. Uz predviđenu proizvodnju od 113 Mtoe (4.73108400E+12) energije iz biomase u 2020. godini u EU bi se stvorile mogućnosti za otvaranje oko 1.500.000 novih radnih mjesta (Sušnik i Benković, 2007.).

Biomasa predstavlja prvi i najstariji izvor energije što su ljudi upotrebljavali u obliku raznih drvnih ostataka koje su skupljali i koristili za grijanje, kuhanje i ostale potrebe. Sve do početka intenzivne primjene fosilnih goriva, čija je upotreba utjecala na razvoj civilizacije, biomasa je bila primaran i gotovo jedini izvor energije. Nakon intenzivne primjene fosilnih goriva i njihovog negativnog utjecaja na okoliš, biomasa ponovno postaje značajan energent i zanimanje za nju ponovno počinje rasti. Budući da su prirodni resursi ograničeni potrebno je pristupiti rješavanju ovog problema tako da se uzme u obzir zaštita prirodnih resursa te energetski potencijal poljoprivredne biomase (Jovičić i sur., 2015.).

Problemom invazivnih stranih vrsta intenzivnije se počelo baviti zadnjih desetljeća. Kontrola unošenja i širenja invazivnih stranih vrsta i smanjivanje njihova utjecaja na autohtone vrste i cjelokupne ekosustave danas je jedan od najvećih izazova zaštite prirode u Europi. Globalno gledajući, danas se smatra da invazivne strane vrste na nekom području, uz izravno uništavanje staništa, predstavljaju najveću opasnost za njegovu bioraznolikost (HAOP, 2017.).

Prema Mitić i sur. (2008.), stranim vrstama smatraju se one koje su unešene i rastu izvan svog prirodnog staništa, a način unosa stranih vrsta može se podijeliti na: namjerni i nenamjerni unos. Njihovo širenje je posljednjih desetljeća povećano trgovinom, turizmom, putovanjima, te otvaranjem granica (EU).

Pajasen [*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle] je zbog svoje veličine i brzine širenja potencijalna prijetnja i opasnost uz cestu, jer vozačima može skratiti vidljivost. Žensko stablo proizvodi veliku količinu plodova koji se lako šire i klijaju. Zbog toga je pajasen okarakteriziran kao korovno stablo (Hu, 1979.). Pajasen pokazuje maksimalnu prilagodljivost uvjetima okoliša u kojem raste (Novak i Kravaršćan, 2014). Podnosi siromašna tla i brzo i lako kolonizira područja koja se ne održavaju. Natječe se s autohtonom vegetacijom proizvodeći alelopatske kemikalije koje inhibiraju rast drugih biljaka. Ova biljna vrsta je postala invazivna na svim kontinentima izuzev Antarktiku. Najčešće se nalazi na urbanim staništima i duž prometnica, ali se može pronaći i u prirodnim staništima (Kowarik i Säumel, 2007.) i nacionalnim parkovima, te je potrebno ispitati njegov potencijal u proizvodnji energije.

1.1. Cilj istraživanja

Ciljevi ovog istraživanja bili su:

- utvrditi mogućnost korištenja ostataka invazivne biljne vrste pajasena nakon uklanjanja iz prirode mehaničkim putem,
- ispitati njegov sastav i energetska svojstva,
- utvrditi energetska potencijal pajasena s ciljem proizvodnje toplinske energije,
- utvrditi potencijal primjene procesa pirolize s ciljem proizvodnje biougljena kao energenta i biougljena kao proizvoda dodane vrijednosti,
- utvrditi razlike između uzoraka prikupljenih na pet različitim lokacija.

2. Pregled literature

2.1. Energija – obnovljivi izvori energije

Obnovljivi izvori energije u hrvatskom se Zakonu o energiji definiraju 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.”

Prema tom zakonu (NN 100/2015), obnovljivi izvori energije dijele se na energiju sunca, energiju vjetra, hidroenergiju, geotermalnu energiju, energiju biomase te nespecificirane i ostale obnovljive izvore energije.

Neobnovljivi izvori energije su svi prirodni izvori koji nastaju dugotrajnim prirodnim procesima i ne mogu se obnavljati toliko brzo koliko ih mi možemo koristiti, a to su fosilna goriva - ugljen, nafta, zemni plin i uljni škriljevci. Neobnovljive prirodne resurse nije moguće koristiti na održiv način i njihovu eksploataciju je nužno smanjiti ili potpuno obustaviti (Jelčić, 2016.).

Biomasa je najvažniji obnovljivi izvor energije u Europskoj uniji s najvećim udjelom proizvodnje i potrošnje toplinske energije, zauzimajući 46% (41% za grijanje i hlađenje, 5% za električnu energiju) od ukupne proizvodnje obnovljivih izvora energije (Jelčić, 2016.). Korištenje biomase kao obnovljivog izvora energije nije samo zahtjev EU, nego i ekonomski opravdan način ulaganja u proizvodnju električne i toplinske energije (Raguzin, 2011.).

Drugi najveći izvor je hidroenergija, uz biomasu i drugi najstariji obnovljivi izvor energije i zauzima 16% od ukupne proizvodnje iz obnovljivih izvora. Energija vjetra je danas u najvećem porastu i ima potencijal za proizvodnju viši od 8% ukupne opskrbe električnom energijom za EU do 2030. godine. Energija vjetra i vode (vjetroelektrane i hidroelektrane) se koriste za dobivanje električne energije, dok se ostali izvori kao što su biomasa, solarni paneli i geotermalni izvori mogu koristiti za dobivanje i električne i toplinske energije. Hidroelektrane su najznačajniji izvor električne energije, ali s obzirom na promjene toka rijeka i sve popratne pojave koje mogu nepovoljno djelovati na okoliš, hidroenergija je jedan od nepovoljnijih obnovljivih izvora energije i nije konstantan izvor energije s obzirom da proizvodnja oscilira ovisno o vremenskim uvjetima (Jelčić, 2016.).

Postoji čitav niz potencijalnih ciljeva u energetske planiranju i zaštiti okoliša koji imaju pozitivne učinke u obliku povećanog korištenja biomase i ostalih obnovljivih izvora, kao što su:

- smanjenje emisije stakleničkih plinova te troškova proizišlih iz globalnih i lokalnih učinaka onečišćenja
- smanjenje onečišćenja koje utječe na zdravlje ljudi iz konvencionalnih postrojenja za proizvodnju električne energije i pripadnih troškova liječenja

- povećanje prihoda lokalnih zajednica kroz lokalno zapošljavanje i izgradnju infrastrukture
- povećanje sigurnosti opskrbe kroz diversifikaciju izvora i proizvodnih lokacija
- poštovanje međunarodnih obveza i sporazuma (Raguzin, 2011.).

Europska unija donosi nove ciljeve za razdoblje do 2030. godine, a to su smanjenje emisije stakleničkih plinova za najmanje 40% u odnosu na 1990. godinu, najmanje 27% ukupne potrošnje energije iz obnovljivih izvora u EU te povećanje energetske učinkovitosti za najmanje 27%. Do 2050. godine, cilj je smanjenje ukupne emisije stakleničkih plinova za najmanje 80% (Jelčić, 2016).

Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (NN 100/2015) kaže da je korištenje obnovljivih izvora energije i kogeneracije od interesa za Republiku Hrvatsku. Korištenjem obnovljivih izvora energije i kogeneracije ostvaruju se interesi Republike Hrvatske u području energetike, utvrđeni Strategijom energetskog razvitka Republike Hrvatske, zakonima i drugim propisima, kojima se uređuje obavljanje energetskih djelatnosti, osobito u smislu:

1. ostvarivanja Nacionalnog cilja korištenja energije iz obnovljivih izvora energije u vezi s udjelom korištenja energije iz obnovljivih izvora energije u ukupnoj neposrednoj potrošnji energije u Republici Hrvatskoj u 2020. godini;
2. šireg korištenja vlastitih prirodnih energetskih resursa;
3. dugoročnog smanjenja ovisnosti o uvozu energenata;
4. učinkovitog korištenja energije i smanjenja utjecaja uporabe fosilnih goriva na okoliš
5. otvaranja novih radnih mjesta i razvoja poduzetništva u energetici i drugim djelatnostima koja se iniciraju s razvojem energetskih projekata i njihovih rezultata u lokalnoj zajednici;
6. poticanja razvoja novih i inovativnih tehnologija i doprinosa lokalnoj zajednici;
7. diversifikacije proizvodnje energije i povećanja sigurnosti opskrbe.

Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske navodi obvezatni cilj korištenja energije iz obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj u 2020. godini, a određuje se kao minimalni udjel energije iz obnovljivih izvora energije u ukupnoj neposrednoj potrošnji energije, koji izražen u postotku iznosi 20% (NN 100/2015).

2.2. Biomasa

Biomasa je najsluženiji oblik obnovljivih izvora energije jer obuhvaća široku sirovinsku osnovu, mjesto korištenja energije iz biomase se može odvojiti od mjesta nastanka biomase, iz biomase se mogu proizvesti sva tri oblika korisne energije, projekti biomase sudjeluju na barem dva tržišta, iz iste vrste biomase mogu se proizvesti različiti oblici korisne energije korištenjem različitih tehnologija pretvorbe, široki spektar tehnologija konverzije te se nalazi u sva tri agregatna stanja.

Može se podijeliti na dva osnovna načina: prema podrijetlu – šumska ili drvena biomasa, nedrvna biomasa i biomasa životinjskog podrijetla te prema konačnom pojavnom obliku u koju spadaju kruta biomasa, bioplinovi i kapljevitog biogoriva (biodizel i alkohol).

U energetici se biomasa definira kao obnovljivi izvor energije koji se dobiva od biljaka i životinja, a dijeli se na sljedeće kategorije:

- drvena biomasa (ostaci iz šumarstva, otpadno drvo kod prerade)
- ostaci iz poljoprivrede
- uzgojena drvena biomasa (tzv. energetske šume)
- uzgojena nedrvna biomasa (brzorastuće alge i trave)
- životinjski otpad i ostaci
- obnovljivi, gorivi komunalni otpad i mulj iz pročištača otpadnih voda (Raguzin,

2011.).

Izvori biomase obilni su diljem svijeta. Biomasa u zadovoljavanju svjetskih energetske potreba sudjeluje s približno 14% i ponajprije potječe od ostataka poljoprivredne i drvne proizvodnje te iz šuma. Republika Hrvatska, kao zemlja s velikim šumskim potencijalom (44% kopnenog šumskog teritorija) i sa značajnom ulogom poljoprivrede te brojnim drveno-prerađivačkim pogonima, ima na raspolaganju velike količine biomase različita podrijetla koji se mogu koristiti za proizvodnju energije (Raguzin, 2011.).

Pri iskorištavanju i protupožarnoj zaštiti šuma nastaju velike količine biomase koja se može upotrijebiti za proizvodnju energije. U energetske se svrhe može koristiti i drvo iz vjetroizvala, ledoloma, oboljelih stabala, s opožarenih površina i uz šumske ceste. Pri klasičnom se iskorištavanju šuma u Hrvatskoj koristi drvo debla, krošanja i grana čiji je promjer s korom na tanjem kraju veći od 7 cm. Na taj se način iskoristi 60 do 70% drvne mase zrelih sastojina, a samo 50% mlađih. Ostatak pri sječi i izradi te privlačenju drva od panja do šumske ceste čini drvni otpad. Udio ostataka i otpada ovisi o brojnim čimbenicima, no prosječno se za sve sastojine i vrste drveća pri sječi i izradi te privlačenju može računati s nešto više od 20% ostatka.

U proizvodnim pogonima drvne industrije nastaje drvni ostatak u obliku vlažne drvne biomase iz primarne prerade, odnosno pilana i linije okoravanja (kora, vlažna piljevina, komadni

ostatak-okrajci i okorci) i suhe biomase iz finalne prerade drva (piljevina, bruševina, blanjevina te sitni i krupni komadni ostatak), a koji često predstavlja opterećenje za poslovanje drvne industrije. Taj se ostatak trenutačno najčešće koristi samo djelomično i to za podmirenje osnovnih toplinskih potreba pogona (grijanje i tehnološke potrebe). Dio drvnog ostatka koji se ne koristi na različite se načine uklanja iz pogona uz dodatni trošak i štetan utjecaj na okoliš.

Najduže istraživani i najpoznatiji izvori biomase su energetske nasadi na kojima se uzgaja brzorastuće drveće kod kojeg trajanje ophodnje (vrijeme od osnivanja do sječe) iznosi od 3 do 12 godina. Na njima se mogu uzgajati razne vrste drveća, a u Hrvatskoj se najveći prinosi postižu s topolama i vrbama dobivenim različitim metodama oplemenjivanja. Prinos drvne mase na takvim plantažama kreće se od 8 do 25 tona suhe tvari po hektaru godišnje. Nasadima se pokušava smanjiti potrošnja fosilnih goriva, povećati raznolikost kultura na poljoprivrednim površinama, a služe i za uklanjanje štetnih tvari iz otpadnih voda odnosno, sprečavanje zagađenja (biofilteri) (Radna skupina za biomasu, 2005.).

Iskorištavanje energije šumske biomase, uglavnom ogrjevnog drva, ima dugu tradiciju u RH, poglavito u ruralnim dijelovima zemlje, pa se 1965. godine iz šumske biomase zadovoljavala gotovo četvrtina ukupne potrebe za energijom. Danas se pokriva mali dio potrebe za energijom, svega jedna dvanaestina (4,3%) gdje dominira jednodometarsko i višemetarsko ogrjevno drvo (Sušnik i Benković, 2007.).

Pretvorba biomase u energiju obuhvaća širok spektar različitih izvora i vrsta biomase, mogućnosti pretvorbe, načine upotrebe te tehnološke mogućnosti. U svakom slučaju potrebno je obaviti žetvu i/ili prikupljanje, transport i eventualno skladištenje prije biranja same tehnologije pretvorbe. Biomasu je moguće pretvoriti u energiju različitim procesima ovisno o vrsti i kvaliteti sirovine; željenom obliku energije; načinu upotrebe, okolišnim normama, ekonomskim mogućnostima i drugim (Kontek, 2016.).

Postoje brojni načini da se iz biomase dobije energija. Biomasa se može izravno pretvarati u energiju izgaranjem te tako proizvesti vodena para za grijanje u industriji i kućanstvima te dobivati električnu energiju u malim termoelektranama. Neke biljke sadrže ulje koje se može upotrebljavati u dizelskim motorima. Fermentacijom se može proizvoditi etanol za pogon vozila, a anaerobnom fermentacijom se može dobiti metan koji se može upotrijebiti kao pogonsko gorivo. Suhom destilacijom (grijanje bez prisutnosti zraka) može se od biomase dobiti metanol, aceton, drveni ugljen i drugi produkti (Sušnik i Benković, 2007.).

2.2.1. Termokemijska konverzija biomase

Termokemijski procesi se pod kontroliranim uvjetima temperature i kisika koriste za pretvaranje izvorne sirovine biomase u prikladnije oblike energije, odnosno biogoriva (Sharma i sur., 2014).

Danas se uglavnom koriste tri načina dobivanja energije iz biomase. To su: izgaranje (egzotermno), rasplinjavanje (egzotermno) i piroliza (endotermno). Povišene temperature termokemijske konverzije (300 °C do 1.000 °C) omogućuju široki raspon sirovina biomase koji se može koristiti u bioindustriji. Najčešće korišteni termokemijski procesi su neposredno izgaranje, piroliza i rasplinjavanje. Među navedenim načinima pretvorbe biomase u energiju, piroliza kao način pretvorbe biomase u tekuće gorivo je privlačila te i dalje privlači najviše zanimanja, zbog svojih prednosti glede skladištenja, transporta te prilagodljivosti u upotrebi kod npr. motora s unutarnjim izgaranjem, kotlova te plinskih turbina i sl. (Jahirul i sur., 2012).

Izgaranje je oksidacija goriva u kojem se biomasa može potpuno oksidirati i prenijeti u toplinu. Učinkovitost ovog procesa je samo oko 10%, a ovaj način korištenja je izvor znatnog zagađenja okoliša. Rasplinjavanje je djelomično oksidirajući proces koji pretvara kruto gorivo u plinovito gorivo, a piroliza je prva faza procesa izgaranja i rasplinjavanja (Jahirul i sur., 2012).

2.2.2. Piroliza

Piroliza je toplinska razgradnja organskog materijala u odsutnosti (molekularnog) kisika. Procesom pirolize se može transformirati biomasa niske gustoće ($\sim 1.5 \text{ GJ m}^{-3}$) i drugi organski materijal u tekućinu visoke energetske gustoće, odnosno bioulje ($\sim 22 \text{ GJ m}^{-3}$ or $\sim 17 \text{ MJ kg}^{-1}$), krutinu odnosno biougljen ($\sim 18 \text{ MJ kg}^{-1}$) i plin relativno niske energetske gustoće, odnosno sintetski plin ($\sim 6 \text{ MJ kg}^{-1}$). Piroliza uključuje zagrijavanje organskih materijala na temperaturi većoj od 400 °C u odsutnosti kisika. Pri tim visokim temperaturama organski se materijal toplinski raspada oslobađajući fazu pare i preostalu čvrstu fazu (biougljen). Pri hlađenju pare spojevi velike molekularne težine kondenziraju se kao tekućina (bioulje) dok zaostaju spojevi male molekularne težine (sintetski plin) (Laird i sur., 2009.).

Prema Jahirul i sur. (2012.) piroliza se ovisno o uvjetima dijeli u tri kategorije: spora, brza i „flash“ piroliza. Ove se vrste pirolize razlikuju po temperaturi, vremenu potrebnom za izgaranje, brzini zagrijavanja, veličini čestica biomase, itd.

Spora piroliza je proces sporog zagrijavanja biomase brzinom 5–7 °C/min pri temperaturi procesa od 300–650 °C. Najzastupljeniji produkti su čvrsti ostatak i bioulje dok je prinos pirolitičkog plina znatno smanjen.

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

količini i koks u neznatnoj količini. Poslije hlađenja i kondenzacije plinovite faze dobiva se tekuća faza tamnosmeđe boje, koja se naziva biouljem.

„Flash“ piroliza je proces pri kojem se veoma male čestice biomase (105–250 μm) zagrijavaju velikom brzinom u kratkom vremenu od nekoliko sekundi, u protočnom reaktoru ili reaktoru sa fluidiziranim slojem, sa ciljem dobivanja maksimalnog prinosa tekućeg proizvoda. Ispitivanja su pokazala da se može ostvariti prinos tekućeg proizvoda do 68% (Kosanić, 2015.).

Pirolizom iz biomase nastaje kompleksna smjesa u kojoj se može naći i više od stotinu ugljikovodika. U smjesi se u najvećem udjelu pojavljuju CO i CO₂, kao posljedica značajne količine kisika u biomasi, zatim H₂O, H₂, ugljikovodici malih molekularnih masa i katran kao smjesa ugljikovodika velikih molekularnih masa. Sastav i nastala količina produkata ovise o procesnim parametrima poput geometrije ložišta, temperature, tlaka i brzine dovođenja topline, također, ovise o kemijskom sastavu biomase, njezinim fizikalnim svojstvima, gustoći, toplinskoj provodljivosti, toplinskom kapacitetu te o obliku i veličini čestica (Bonefačić, 2012.).

Piroliza poljoprivrednih ostataka pridonosi ispunjavanju ciljeva vezanim za obnovljive izvore energije zamjenom fosilnih goriva, što pridonosi smanjenju globalnog zagrijavanja. Ovim postupkom se dobivaju produkti koji su kasnije iskoristivi, umjesto da se biomasa samo spaljuje. Izravnim spaljivanjem poljoprivrednih ostataka jedini praktični produkt je toplina, dok se produkti pirolize ne koriste samo kao gorivo, nego se dalje mogu pročišćavati i koristiti kao sirovina za petrokemijske i druge svrhe, na primjer biougljen služi izmjeni tla i stabiliziranju količine ugljika (Samy Sadaka i sur.). Prednost pirolize je da pretvara kruti materijal u plinove i pare koje su manje skupe za rukovanje, prijevoz i pohranu (Sharma i sur., 2014.). Krajnji je cilj tehnologije pirolize stvoriti visoko kvalitetno bioulje i zamijeniti neobnovljiva fosilna goriva. Tri primarna produkta dobivena pirolizom biomase su drveni ugljen, plinovi i pare koje se pri sobnoj temperaturi kondenziraju do tamnosmeđe viskozne tekućine (Jahirul i sur., 2012.), a prikazani su na slici 2.2.2.1.



Slika 2.2.2.1. Produkti pirolize
(Izvor: www.mdpi.com/journal/energies)

Biougljen je crni ugljikov materijal nastao raspadanjem biljnih organskih tvari u atmosferi sa malo ili bez prisutnosti kisika kako bi se oslobodili plinovi bogati energijom koji se zatim koriste za proizvodnju tekućih goriva ili izravno za proizvodnju energije. Atomi ugljika u biougljenu su čvrsto vezani jedan na drugi, što čini biougljen otpornim na napad i razgradnju od strane mikroorganizama. Biougljen je potencijalno visoko vrijedan način stabiliziranja ugljika i vezanja u tlo i jedan od načina vezivanja CO₂ iz atmosfere (Shackley i sur., 2009.). Kada se koristi kao poboljšivač tla, povećava plodnost tla i poboljšava kvalitetu tla podižući pH kiselih tala, povećava kapacitet zadržavanja vlage, privlači korisne gljive i bakterije, poboljšava kapacitet zamjene kationa (CEC) i zadržavanje hranjivih tvari u tlu (Winsley, 2007.). Procesom pirolize moguće je dobiti 12-35% biougljena, najveći utjecaj na njegov prinos imaju temperatura samog procesa te vrsta biomase koja se koristi u procesu (Shackley i sur., 2009.).

Bioulje je tamno smeđa viskozna tekućina nastala kondenzacijom pare pri procesu pirolize, koja ima nekih sličnosti sa sirovim fosilnim gorivima. Bioulje je kompleksan oksidirani spoj koji se sastoji od vode, u vodi topivih spojeva, poput kiselina, estera, itd., i spojeva topivih u vodi, koji se obično nazivaju pirolitički lignin, jer nastaje iz ligninskog dijela biomase. Bioulja sadrže stotine organskih spojeva koji pripadaju alkanima, aromatskim ugljikovodicima, derivatima fenola i u manjim količinama ketoni, esteri, eteri, šećeri, amini i alkoholi. Zbog visokog sadržaja kisika, bioulja imaju nižu toplinsku vrijednost od fosilnih goriva. Uspoređujući bioulje i fosilna goriva, toplinska vrijednost bioulja je u pola manja za razliku od goriva nastalih fosilnim sirovinama, kao što je teško lož ulje. Međutim bioulja sadrže manje dušika i samo tragove metala ili sumpora. Zbog velikih količina oksigeniranih komponenti prisutnih u bioulju, obično

je polarno (kao voda) i ne miješa se lako sa ugljikovodicima. Bioulje je kiselo, pH vrijednost je u rangu od 2 do 4, što ga čini visoko nestabilnim i korozivnim (Sadaka i sur.).

Sintetski plin kao treći produkt pirolize predstavlja nekondenzirajuće plinove koji su u osnovi mješavina vodika i ugljikovog monoksida, ali najčešće sadrže i metan, ugljikov dioksid, vodenu paru i nekoliko hlapivih organskih spojeva niske molekularne mase, moguće ga je koristiti u proizvodnji el. energije (Laird i sur., 2009.).

2.2.3. Prednosti i nedostaci biomase kao ekološkog goriva

Glavna prednost biomase kao energenta u odnosu na fosilna goriva je njena obnovljivost i potrajnost te manja emisija štetnih plinova i otpadnih voda. Računa se da je opterećenje atmosfere s CO₂ pri korištenju biomase kao goriva, gotovo zanemarivo jer ako se biomasa proizvodi održivo, rast šumske biomase i druge biljne zajednice vezat će CO₂ iz atmosfere i pohranjivati ga u biljnu strukturu. Spaljivanjem biomase ugljik će se oslobađati u atmosferu da bi se opet asimilirao s novom generacijom biljaka. Tako korištenjem biomase umjesto fosilnih goriva, ugljik pohranjen u fosilnim gorivima ostaje u tlu, a ne oslobađa se u atmosferu kao CO₂ pa je ukupna bilanca jednaka nuli, odnosno biomasa se može smatrati CO₂ neutralnim gorivom, a kruženje CO₂ prikazano je na slici 2.2.3.1.

Dodatne su prednosti zbrinjavanje i iskorištavanje otpada i ostataka iz poljoprivrede, šumarstva i drvne industrije, smanjenje uvoza energenta, ulaganje u poljoprivredu i nerazvijena područja i povećanje sigurnosti opskrbe energijom (Sušnik i Benković, 2007.).

Neke od nepogodnosti za primjenu su ekonomski problemi sakupljanja, pakiranja i skladištenja biomase, periodičnost nastanka biomase, nepovoljan oblik i visoka vlažnost biomase, velike investicije postrojenja za izgaranje biomase (Hodolič, 2007.).



Slika 2.2.3.1. Kruženje CO₂

(Izvor: <https://erenovable.com/energia-de-biomasa/>)

2.3. Invazivne strane biljne vrste

Novopridošle vrste na područjima na kojima su unesene prolaze proces naturalizacije (udomaćivanja). Neke od njih ne mogu dugo opstati na novom staništu, dok su neke vrlo prilagodljive. Ako svladaju zemljopisne, okolišne i reproduktivne prepreke, počinju se širiti u nova područja i postaju invazivne. Šire se, razmnožavaju i integriraju u prethodno „neinficirana” staništa, obično ona koja su utjecajem čovjeka izbačena iz prirodne ravnoteže, ali i ona koja postaju sekundarno ugrožena klimatskim promjenama (Novak i Kravarščan, 2011.).

Ukoliko naseljavanje ili širenje strane vrste negativno utječe na bioraznolikost, zdravlje ljudi ili čini ekonomsku štetu na području na koje je unesena, tada tu vrstu smatramo invazivnom. Globalno gledajući danas se smatra da invazivne strane vrste na nekom području, uz izravno uništavanje staništa, predstavljaju najveću opasnost za njegovu bioraznolikost. Kroz veliki europski projekt DAISIE na području Europe zabilježeno je više od 11.000 stranih vrsta (HAOP, 2017.). Invazivne strane vrste općenito nanose štetu ekosustavima i smanjuju otpornost tih ekosustava (EU 1143/2014).

Komisija putem provedbenih akata donosi popis invazivnih stranih vrsta „koje izazivaju zabrinutost u Uniji“ („Unijin popis”). Provedbenom uredbom komisije (EU 2017/1263) od 12. srpnja 2017. o ažuriranju popisa invazivnih stranih vrsta koje izazivaju zabrinutost u EU, popis invazivnih stranih vrsta koje izazivaju zabrinutost u EU ažuriran je s 12 novih invazivnih stranih vrsta (HAOP, 2017.). Unijin popis sada ukupno sadrži 49 invazivnih stranih vrsta, od čega je u Hrvatskoj zabilježeno njih 17 (www.invazivnevrste.hr).

Nakon unošenja invazivne strane vrste, mjere ranog otkrivanja i brzog iskorjenjivanja od ključne su važnosti za sprječavanje njezinog naseljavanja i širenja. Često je najučinkovitiji i troškovno najisplativiji odgovor iskorjenjivanje populacije u što je moguće kraćem roku, dok je broj jedinki još ograničen. Ako iskorjenjivanje nije izvedivo ili troškovi iskorjenjivanja, gledajući dugoročno, premašuju okolišne, društvene i gospodarske koristi, trebalo bi primijeniti mjere ograničavanja i kontrole (EU 1143/2014).

Europska organizacija za zaštitu bilja (EPPO) razvila je strategiju suradnje širom Europe sa svrhom zaštite od stranih invazivnih vrsta. Stručnjaci ove organizacije izradili su popis invazivnih stranih biljnih vrsta koje su ocijenjene kao važna prijetnja za biljno zdravlje, okoliš i biološku raznolikost na EPPO području, kojem pripada i Republika Hrvatska. EPPO preporučuje svim zemljama provođenje mjera, kojima će se spriječiti unošenje i širenje ovih vrsta te način gospodarenja nepoželjnim populacijama (Novak i Kravarščan, 2011.).

Prema članku 9. Zakona o sprječavanju unošenja i širenja stranih te invazivnih stranih vrsta i upravljanja njima (NN 15/18) zabranjeno je uvođenje stranih vrsta u prirodu i/ili u ekosustave

u kojima prirodno ne obitavaju, uzgoj stranih vrsta i njihovo stavljanje na tržište Republike Hrvatske.

Ukoliko dođe do uvođenja invazivne strane vrste na područje Republike Hrvatske, ministar može naredbom odrediti uklanjanje (eradikaciju) ili mjere postupanja, tj. sprječavanja daljnjeg širenja navedene vrste. Invazivnu stranu vrstu, nažalost, gotovo nikad nije moguće ukloniti iz staništa u koje se proširila, osim na otocima te na ograničenim dijelovima kopna na kojima se još nije široko rasprostranila (HAOP, 2017.).

2.4. Pajasen [*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle]

Red: Sapindales

Porodica: Simaroubaceae (pajaseni)

Rod: *Ailanthus*

Vrsta: *Ailanthus altissima*

Hrvatski nazivi: žljezdasti pajasen, bogač, rajsko stablo, jelš, pajesan žljezdasti (Nikolić i sur., 2014.). Latinsko ime roda *Ailanthus* potječe od indonezijske riječi *ailanto* (nebesko drvo, drvo bogova), a ime vrste *altissima* dolazi od latinske riječi *altus* (visok) čime se ukazuje na brz rast i visinu (www.plantea.com.hr/pajasen). Na slici 2.4.1. prikazana je monokultura pajasena slikana na tvrđavi Klis.



Slika 2.4.1. Pajasen (*Ailanthus altissima*)/Lokacija: Klis
(Izvor: vlastiti izvor)

2.4.1. Morfologija

Pajasen (*Ailanthus altissima*) brzorastuće je, razgranato, listopadno stablo podrijetlom iz sušnih i toplih predjela Kine (Novak i sur., 2014.). Izrazito je otporna biljka koja podnosi različite oborinske režime, vrlo je otporan na siromašna tla i zagađen zrak (Nikolić i sur., 2014.). Može narasti preko 30 metara u visinu, promjera debla do 1,5 m. Stopa rasta je niža u prirodnim sredinama i kod starijih stabala (Kowarik i Säumel, 2007.). Osobito brzo rastu sadnice, posebice u urbanim sredinama u kojima jednogodišnja sadnica može biti visoka do 2 m (Hu, 1979.). Ovo drvo odlikuje glatka, blijedo siva kora i teško lišće koje ima veliku površinu. Naizmjenični listovi, dugi 30-90 cm, sastavljeni su od 10 do 40 lisaka, dužine 5-18 cm (slika 2.4.1.1.). Pupovi su sitni, tupi, prekriveni s 2-4 smečkaste, sitno dlakave ljuske, dok vršni pup nedostaje. Lišće izlučuje slatki sok iz izbočine žlijezda pa se i zove žljezdasti pajasen (Novak i sur., 2014.). Korijenov sistem kod pajasena je širok i plitak, a korijenje u blizini stabljike je zgusnuto, većina korijenovog sustava raste u gornjem sloju tla, na dubini od oko 46 cm, što omogućava visoku otpornost na sušu, ali problem se javlja kod tala sa lošom drenažom, pa pajasen izostaje u močvarnim područjima (Thompson i sur., 2008.). Uspješno i brzo se razmnožava i vegetativno, tjeranjem podzemnih podanaka, koji se mogu pojaviti iznad tla i na 15-ak metara udaljenosti od matične biljke. Ova vrsta je dvodomna, tj. pojedine jedinke nose cvjetove samo jednog spola, muške ili ženske (Nikolić i sur., 2014.). Cvjetovi su sitni, žućkasto-zeleni do crvenkasti, skupljeni u 40 cm duge metličaste cvatove (Novak i sur., 2014.) (slika 2.4.1.2.). Cvjetovi su promjera 7-8 m. Ocvjeće je građeno od 5 lapova i 5 latica. Kod muških cvjetova prašnika je 10, a kod povremenih dvospolnih 2-3. Pajasen cvjeta tijekom kasnog ljeta (Nikolić i sur., 2014.). Plodonosi u rujnu i listopadu. Plodovi (slika 2.4.1.3.) su dvostruko okriljeni oraščići koji se na stablu zadržavaju najčešće do idućega proljeća (Novak i sur., 2014.). Po uspješnom oprašivanju i oplodnji razvijaju se brojni okriljeni plodovi – samare, s jednom sadržanom sjemenkom. Proizvodi nevjerojatnu količinu plodova, jedna jedinka i do 325.000 tijekom sezone (Nikolić i sur., 2014.).



Slika 2.4.1.1. Listovi pajasena

(Izvor: www.invasive.org (Ansel Oommen))



Slika 2.4.1.2. Cvatovi pajasena
(Izvor: www.tdg.ch)



Slika 2.4.1.3. Plodovi pajasena
(Izvor: www.invazivnevrste.hr (Igor Boršić))

Svi dijelovi biljke, osobito listovi i cvjetovi, imaju karakterističan neugodan miris nalik na mačju mokraću. Medonosna je biljka, med je tamne boje aromatičnog okusa. Ailanton koji se nalazi u kori i lišću je otrovan, te ima alelopatsko djelovanje na druge biljke u blizini kojima inhibira rast. Najnegativniji utjecaj pajasena gotovo je potpuno potiskivanje autohtone flore i vegetacije rastom u gustim sklopovima, čime znatno smanjuje biološku raznolikost (Nikolić i sur., 2014.).

2.4.2. Korištenje

Pajasen se često koristi u biljnoj medicini. Koriste se različiti dijelovi biljke, a najčešće kora. Korijen i kora imaju adstringentno, antispazmatično, diuretično i emetično djelovanje. Biljka se koristi za liječenje malarije i groznice, usporava otkucaje srca i opušta grčeve, također ima antibakterijsko i insekticidno djelovanje. U Kini se koristi za liječenje crijevnih bolesti. Narodni je lijek za epilepsiju, proljev, čireve, tumore. Drvo pajasena je tvrdo i savitljivo, koristi se za namještaj i galanteriju, u Kini se koristi kao građevno i alatno drvo, te za proizvodnju celuloze (www.pfaf.org).

2.4.3. Unos u Europu i Ameriku

Sjeme pajasena je prvi put uneseno iz Nankinga (Kina) u Pariz 1740.-ih preko misionara Pierre d'Incarvillea. U London je prenesen 1751. godine. Tih godina postaje vrlo popularno i cijenjeno drvo u Europi, zbog lijepog lišća i brzog rasta. Pajasen je u Ameriku stigao preko Engleske. Unio ga je William Hamilton iz Philadelphije 1784. godine posadivši ga u svoj vrt. Stablo je tada izazvalo veliku pažnju zbog brzog i bujnog rasta i sposobnosti da napreduje u nepovoljnim uvjetima. Kroz vrijeme, pajasen je postupno zasađen u industrijskim centrima kao što je New York, jer može podnijeti prljavštinu i gradski smog. Danas je pajasen široko naturaliziran u Sjedinjenim Američkim Državama, a toliko se proširio da je postao korovno stablo (Hu, 1979).

2.4.4. Rasprostranjenost

Pajasen podnosi siromašna tla i brzo i lako kolonizira područja koja se ne održavaju. Prema istraživanju Dumitraşcu i sur., (2014.) pajasen podnosi različite uvjete okoline, sunčane i polusunčane padine i otvorena područja, ali i preferira specifične vrste tla i teksture (glinena ilovača) s visokim sadržajem minerala, čime se dokazuje sklonost prema degradiranim terenima. Terenska istraživanja su pokazala da je vrlo dobro razvijen i na velikim uzvisinama s velikim nagibom (od 50 do 200 m). Pajasen je vrsta koja može rasti u umjerenim ili hladnim umjerenim područjima.

Prema stručnim podacima sa Harvarda (Hu, 1979.), proteže se cijelom Amerikom, od Massachusettsa na istoku prema Oregonu na zapadu, od Toronta i Kanade na sjeveru prema Argentini u Južnoj Americi. Pajasen raste na zapuštenim područjima velikih gradova, blizu zgrada, na željeznicama, uzduž autocesta, na zidovima, na mostovima i nadvožnjacima, u

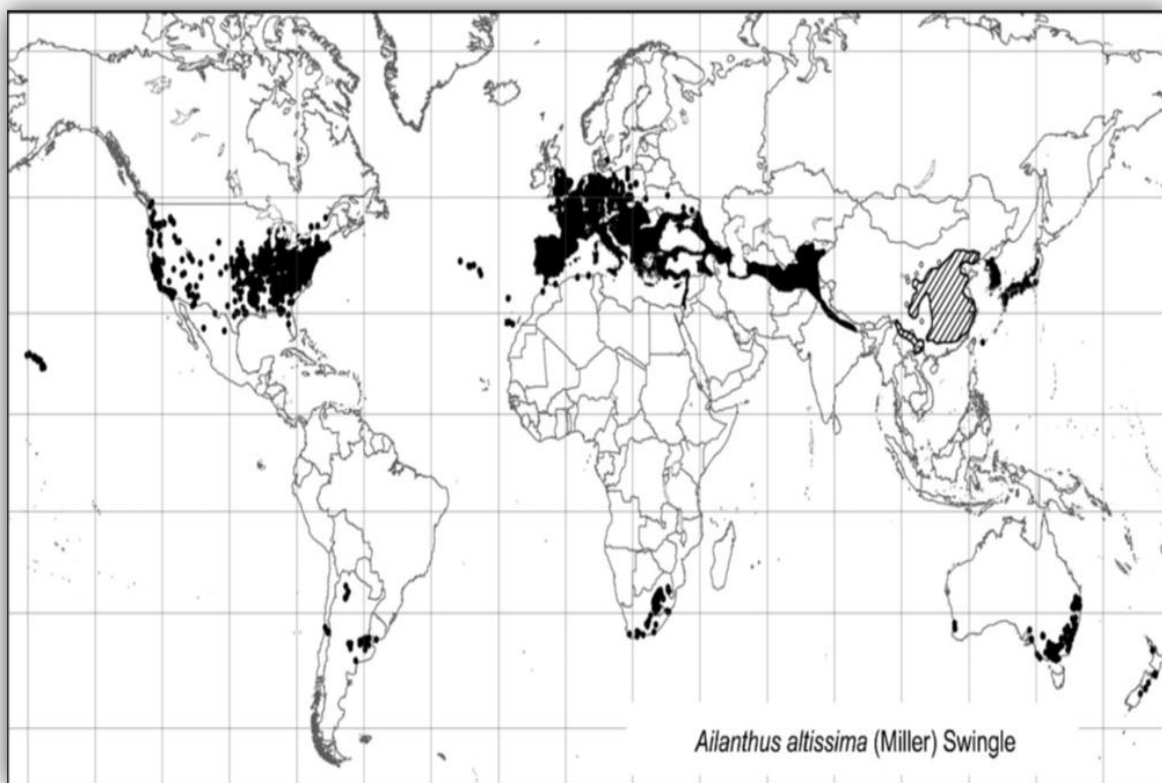
pukotinama pločnika. Od svih stabala uvezenih iz Kine u Ameriku, pajasen je najrašireniji (Hu, 1979.). Kartu rasprostranjenosti pajasena širom svijeta prikazuje slika 2.4.4.2.

Pajasen je uz još neke invazivne vrste na područje Republike Hrvatske dospio namjernim unosom s ciljem uzgoja. Uglavnom se sadio u vrtovima, ali se proširio na okolna područja, uglavnom obradive površine, te obradive površine koje zaraštaju. Javlja se u većim populacijama, a površine na koje se širi pretvara u monokulture. Pajasen najčešće dolazi na zapuštenim oranicama, uz cestu, na divljim odlagalištima građevinskog otpada, na obradivim površinama, te uz zgrade, kuće i ostale građevinske objekte (Vukojević M. i sur., 2012.).

Prema Novak i sur. (2017.), pajasen je rasprostranjen u Gradu Zagrebu i u svim županijama Republike Hrvatske (slika 2.4.4.1.). U kontinentalnom dijelu Hrvatske, pajasen se nalazi na ograničenim područjima i ne predstavlja izravnu opasnost, te je najveći broj nalaza zabilježen na području grada Zagreba i Zagrebačke županije. Najmanje zaražena područja su Varaždinska i Krapinsko-zagorska županija. U priobalnom dijelu Hrvatske, pajasen je zabilježen kao vrlo agresivna vrsta u stalnoj ekspanziji, a najveći broj nalaza zabilježen je na području Splitsko-dalmatinske i Šibensko-kninske županije, nakon toga u Zadarskoj, Istarskoj te Dubrovačko-neretvanskoj županiji (Novak i sur., 2017.).



Slika 2.4.4.1. Karta rasprostranjenosti vrste *Ailanthus altissima* u Republici Hrvatskoj
(Izvor: Flora Croatica Database, 2018.)



Slika 2.4.4.2. Karta rasprostranjenosti *Ailanthus altissima* širom svijeta

Izvor: (Kowarik and Säumel, 2017.)

2.4.5. Metode kontrole i iskorjenjivanja

Suzbijanje pajasena je izrazito teško i zahtjevno. Visoka sposobnost regeneracije, suzbijanje pretvara u višegodišnju borbu uz nesigurne rezultate (Novak i sur., 2014.). Postoji više metoda kojima se može ukloniti pajasen, ali su nažalost one slabe efikasnosti i potrebno ih je primjenjivati u različitim kombinacijama, kako bi se došlo do vidljivih rezultata. Biološke metode nisu dovoljno istražene i ne primjenjuju se u velikoj mjeri (www.greenhome.co.me).

Mehaničko suzbijanje podrazumijeva čupanje, sječu ili iskapanje biljaka. U toj vrsti suzbijanja idealno bi bilo ukloniti sve biljke pajasena s određenoga područja, zajedno s dijelovima korijena da se spriječi regeneracija. U većini slučajeva mehaničko suzbijanje pajasena, zbog visoke sposobnosti regeneracije (slika 2.4.5.1.), tj. nicanja novih izdanaka iz korijena koji nakon sječe rastu još brže, nije dovoljno (Novak i sur., 2014.).



Slika 2.4.5.1. Uspješna regeneracija biljke iz ostatka posječenog stabalca
(Izvor: www.savjetodavna.hr)

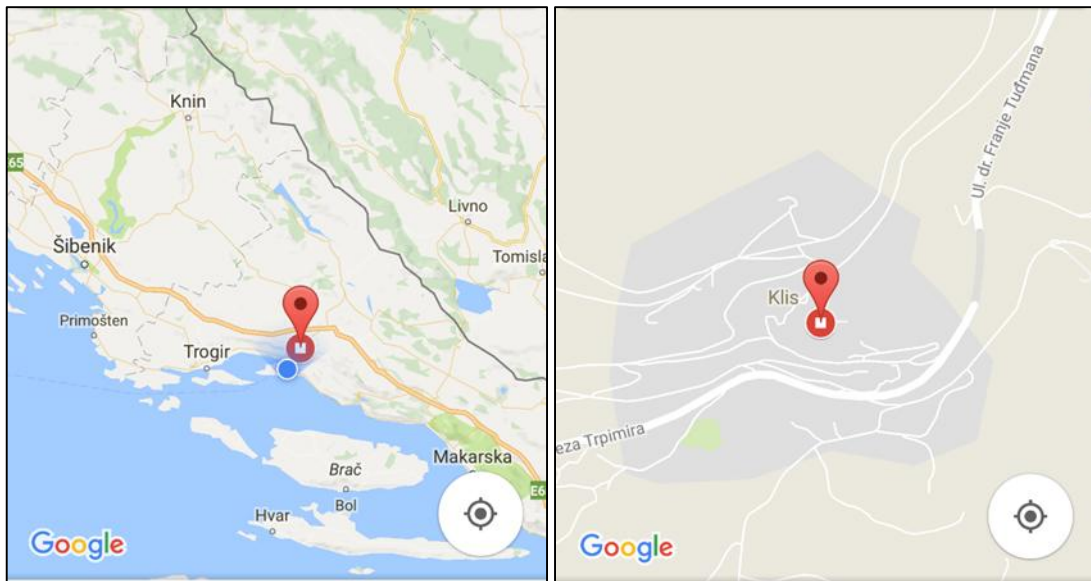
Do sad se pokazala kao najefikasnija kemijska metoda, koja podrazumijeva upotrebu više vrsta herbicida. Herbicidi se mogu nanositi direktno na listove, na koru stabla, na presjek stabla (nakon sječe) ili prskanjem cijele biljke (www.greenhome.co.me). Međutim, primjena herbicida ima svojih nedostataka (osim uobičajenih, kao što su otrovnost za primjenitelja, utjecaj na okoliš, korisne i ne ciljane organizme itd.) (Novak i sur., 2014.).

U suzbijanju pajasena najbolja je kombinacija mehaničkih i kemijskih mjera suzbijanja. Jedna od metoda suzbijanja većih jedinki može biti premazivanje panjeva herbicidom. Nakon rezanja, tj. sječe stabala, koncentriranim herbicidom (škropivom) premazuju se panjevi, što pospješuje učinkovitost sječe, smanjuje usisnu moć korijenova sustava i odgađa regeneraciju (Novak i sur., 2014.).

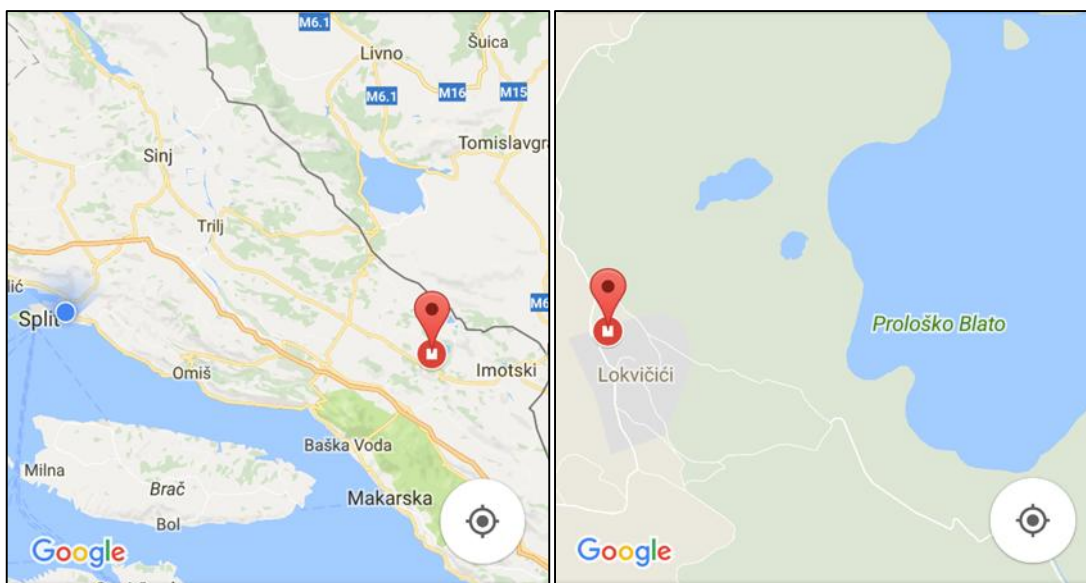
3. Materijali i metode

3.1. Materijali

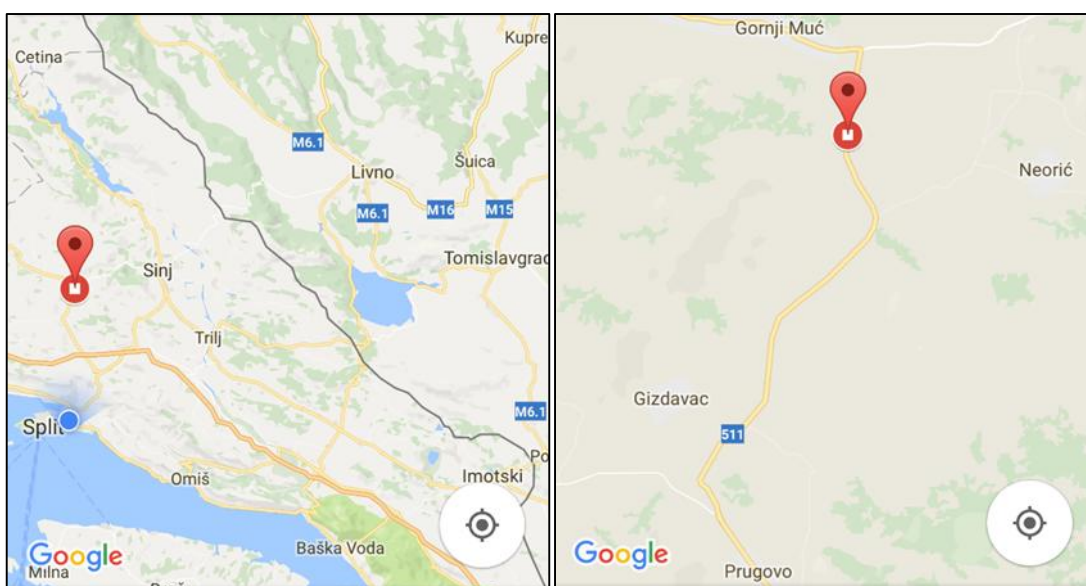
U ovom diplomskom radu, obavljena je analiza uzoraka pajasena, sakupljenih na pet lokacija na području Splitsko-dalmatinske županije. Sa svake lokacije prikupljena su po tri uzorka (slika 3.1.1. – 3.1.5.).



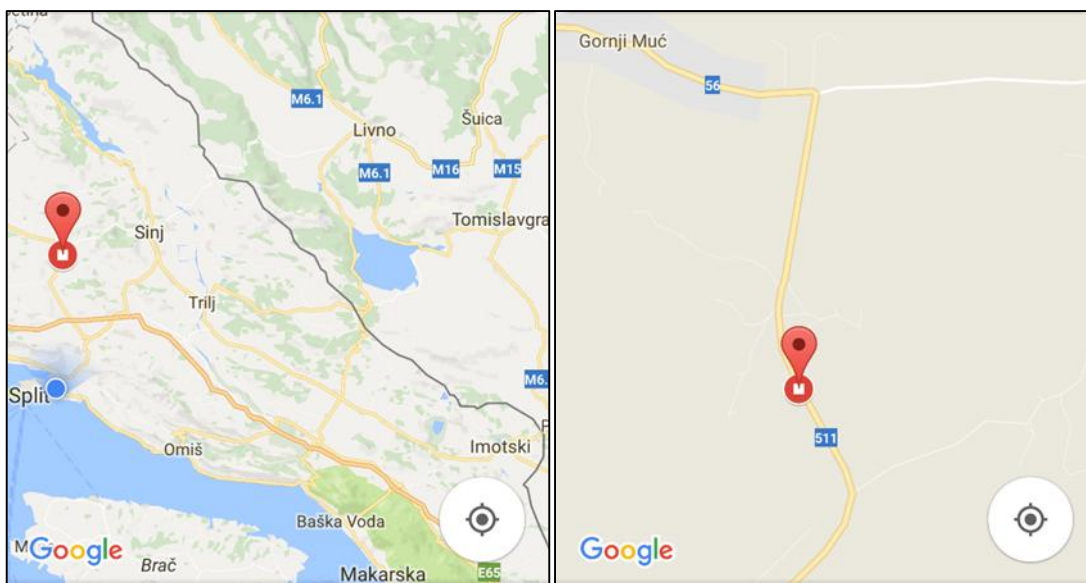
1. Slika 3.1.1. Geografske koordinate 1. lokacije prikazane na karti (Klis – $43^{\circ}33'34.6''N$
 $16^{\circ}31'18.8''E$)
(Izvor: <https://maps.google.com/>)



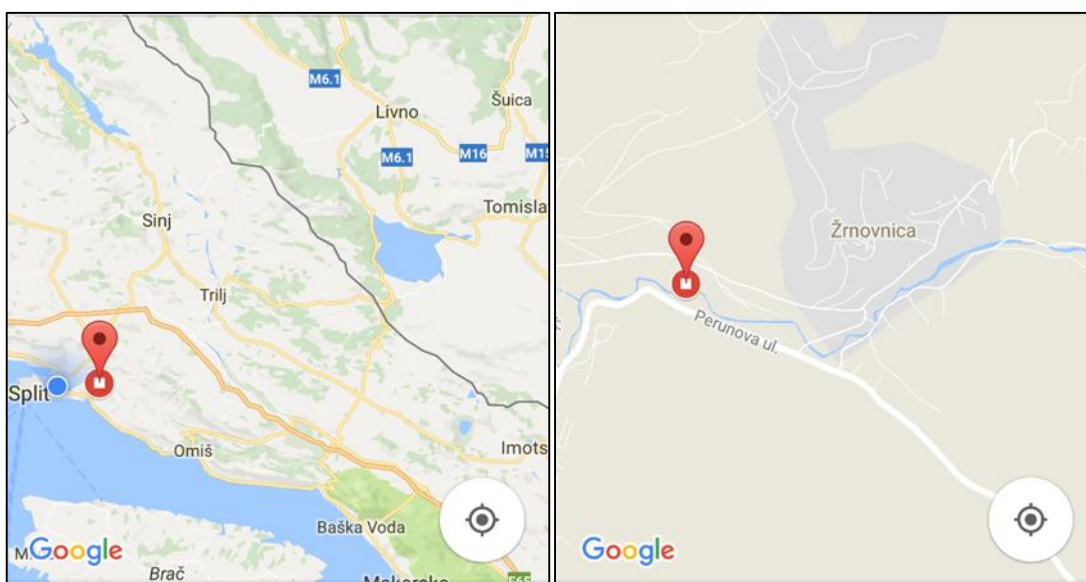
2. Slika 3.1.2. Geografske koordinate 2. lokacije prikazane na karti (Lokvičići – $43^{\circ}27'56.3''N$ $17^{\circ}05'25.4''E$)
(Izvor: <https://maps.google.com/>)



3. Slika 3.1.3. Geografske koordinate 3. lokacije prikazane na karti (Gornji Muć – $43^{\circ}40'46.5''N$ $16^{\circ}29'38.9''E$)
(Izvor: <https://maps.google.com/>)



4. Slika 3.1.4. Geografske koordinate 4. lokacije prikazane na karti (Gornji Muć – $43^{\circ}40'31.7''N$ $16^{\circ}29'41.9''E$)
(Izvor: <https://maps.google.com/>)



5. Slika 3.1.5. Geografske koordinate 5. lokacije prikazane na karti (Žrnovnica – $43^{\circ}31'09.4''N$ $16^{\circ}32'54.9''E$)
(Izvor: <https://maps.google.com/>)

3.2. Metode

Prije početka analize, prikupljeni uzorci biomase pajasena dostavljeni su u laboratorij Zavoda za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport, Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta. Uzorci su zatim usitnjeni u laboratorijskom mlinu (IKA Analysentechnik GmbH, Njemačka), nakon čega su standardnim metodama utvrđeni sadržaj vode (CEN/TS 14774-2:2009), pepela (CEN/TS 14775:2009), koka (CEN/TS 15148:2009), fiksiranog ugljika (računski) i hlapive tvari (CEN/TS 15148:2009). Određivanje udjela celuloze, hemiceluloze i lignina provedeno je modificiranom standardnom metodom ISO 5351-1:2002. Potom je gornja ogrjevna vrijednost u uzorcima utvrđena u IKA C200 kalorimetru (IKA Analysentechnik GmbH, Njemačka).

Nakon završetka svih analiza ulaznih sirovina, proveden je proces pirolize uzoraka, pri kojem je temperatura bila približno 400 °C. Sam proces pirolize traje otprilike 2 sata po uzorku, odnosno do prestanka izgaranja organske tvari. Nakon pirolize, računski su određeni udio proizvedenog biougljena i bioulja u uzorcima. Nadalje, sastav biougljena je analiziran već navedenim standardnim metodama.

3.2.1. Priprema

Uzorci biomase prikupljeni su u periodu od dva tjedna (travanj, 2017.). Priprema uzoraka za analize se sastoji od sušenja biomase prirodnim putem, nakon čega slijedi usitnjavanje iste u laboratorijskom mlinu (IKA Analysentechnik GmbH, Njemačka), te prosijavanje, što je prikazano na slici 3.2.1.1.



Slika 3.2.1.1. Laboratorijski mlin, postupak prosijavanja i usitnjeni uzorci
(Izvor: vlastiti izvor)

3.2.2. Određivanje sadržaja vode

Ovaj postupak se proveo na način da se najprije odvagalo po 1 g usitnjenog uzorka sa svake lokacije, zasebno u staklene posudice, te su uzorci stavljeni na sušenje u laboratorijski sušionik (INKO, Zagreb, 2004) (slika 3.2.2.1), pri čemu posudice ostaju otklopljene, a temperatura u sušioniku je 105 °C. Sam proces sušenja traje 4 sata ili do postizanja konstantne mase (prema standardnoj metodi (CEN/TS 14774-2:2009)). Nakon procesa sušenja, uzorci se stavljaju u eksikator, gdje vlada suha atmosfera, da bi postigli sobnu atmosferu. Nakon stabilizacije temperature, uzorci se važu a razlika u masi prije i nakon sušenja predstavlja sadržaj vode.



Slika 3.2.2.1. Laboratorijska sušnica
(Izvor: vlastiti izvor)

3.2.3. Određivanje sadržaja pepela

Pepeo je anorganski, nesagorivi dio goriva, koji zaostaje poslije procesa izgaranja i sadrži najveći dio mineralnih frakcija koje potječu iz biomase. Sadržaj pepela određuje se izgaranjem uzoraka u mufolnoj peći (Nabertherm, Njemačka, 2010), prema standardnoj metodi CEN/TS 14775:2009. Najprije se određuje masa porculanskih lončića te masa uzoraka (oko 1 g). Kada su svi uzorci pripremljeni, lončići sa uzorcima se stavljaju u mufolnu peć prethodno zagrijanu na 550 °C gdje uzorci izgaraju 4 sata. Nakon izgaranja, lončići se odlažu u eksikator zbog stabilizacije temperature (slika 3.2.3.1.), nakon čega se određuje masa te dalje izračunava udio pepela.



Slika 3.2.3.1. Eksikator sa lončićima nakon spaljivanja
(Izvor: vlastiti izvor)

3.2.4. Određivanje sadržaja koksa

Sadržaj koksa određuje se izgaranjem u mufolnoj peći prema standardnoj metodi CEN/TS 15148:2009. Najprije se određuje masa porculanskih lončića te masa uzoraka (oko 1 g). Kada su svi uzorci pripremljeni, lončići sa uzorcima se stavljaju u mufolnu peć prethodno zagrijanu na $900 \pm 10^\circ\text{C}$ gdje uzorci izgaraju 4 minute. U mufolnoj peći na visokoj temperaturi dolazi do izgaranja hlapivih komponenti, a koks zaostaje. Nakon završetka izgaranja, lončići (slika 3.2.4.1.) se odlažu u eksikator zbog stabilizacije temperature, nakon čega se lončići važu a razlika u masi prije i poslije predstavlja sadržaj koksa.



Slika 3.2.4.1. Lončići nakon izgaranja
(Izvor: vlastiti izvor)

3.2.5. Određivanje sadržaja fiksiranog ugljika

Fiksirani ugljik predstavlja količinu vezanog ugljika pomoću fotosinteze u biomasu. Izgaranjem biomase, CO₂ se vraća u atmosferu i proces se ponavlja. Količinu fiksiranog ugljika dobivamo računski, tako da se od udjela koksa oduzme udio pepela u suhoj tvari.

3.2.6. Određivanje sadržaja hlapivih tvari

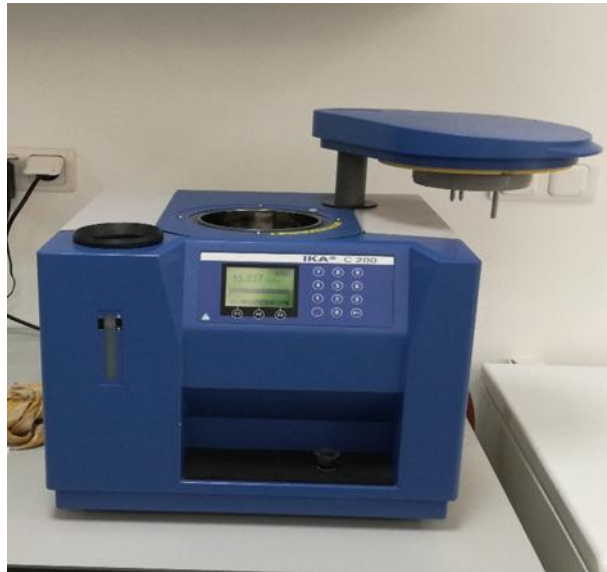
Pojam hlapivih tvari odnosi se na komponente goriva koje se oslobađaju kada se gorivo zagrijava pri visokim temperaturama, ne isključujući vodenu paru. Hlapive tvari, sagorijevanjem ne daju toplinsku energiju. Određivanje udjela hlapivih tvari provodi se prema standardnoj metodi (CEN/TS 15148:2009). Zbog visokog sadržaja hlapivih tvari, biogoriva su lako zapaljiva čak i pri relativno niskim temperaturama, u usporedbi s nekim drugim fosilnim gorivima poput ugljena. Sadržaj hlapivih tvari određuje se računski, tako da se od udjela gorivih tvari oduzme udio fiksiranog ugljika u suhoj tvari uzorka.

3.2.7. Određivanje sadržaja celuloze, lignina i hemiceluloze

Sadržaj celuloze, lignina i hemiceluloze utvrđen je na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu modificiranom standardnom metodom ISO 5351-1:2002.

3.2.8. Određivanje ogrjevne vrijednosti

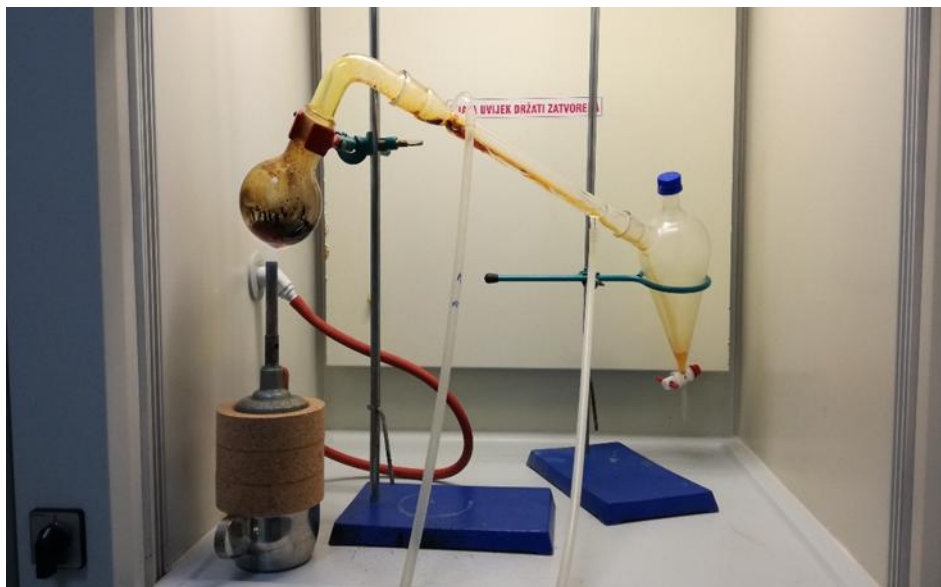
Kalorimetrija je postupak kojim se određuje gornja ogrjevna vrijednost, u IKA C200 kalorimetru (IKA Analysentechnik GmbH, Njemačka) (slika 3.2.8.1.) standardnom metodom ISO (HRN EN 14918:2010). Rad kalorimetra zasniva se na tome da se toplinska energija, koja se oslobađa kod izgaranja uzorka unutar kalorimetrijske bombe, utroši na povećanje kalorimetrijske vode i kalorimetrijske bombe. Sam postupak odvija se na način da se odvaži 0,5 g uzorka koji se stavlja u kvarcnu posudu, te se spaljuje u kalorimetru u kontroliranim uvjetima. Proces traje oko 8 minuta, nakon kojih se na zaslonu kalorimetra dobije iznos gornje ogrjevne vrijednosti MJ/kg.



Slika 3.2.8.1. Kalorimetar
(Izvor: vlastiti izvor)

3.2.9. Određivanje sadržaja biougljena i bioulja pirolizom

Za proces pirolize (slika 3.2.9.1.) koristi se osnovna laboratorijska oprema: tikvica u koju se odvaže 10 g uzorka, spojena staklenim koljenom na Liebigovo hladilo koje se spaja sa lijevkom za odlijevanje, gdje se prikuplja nastalo bioulje.

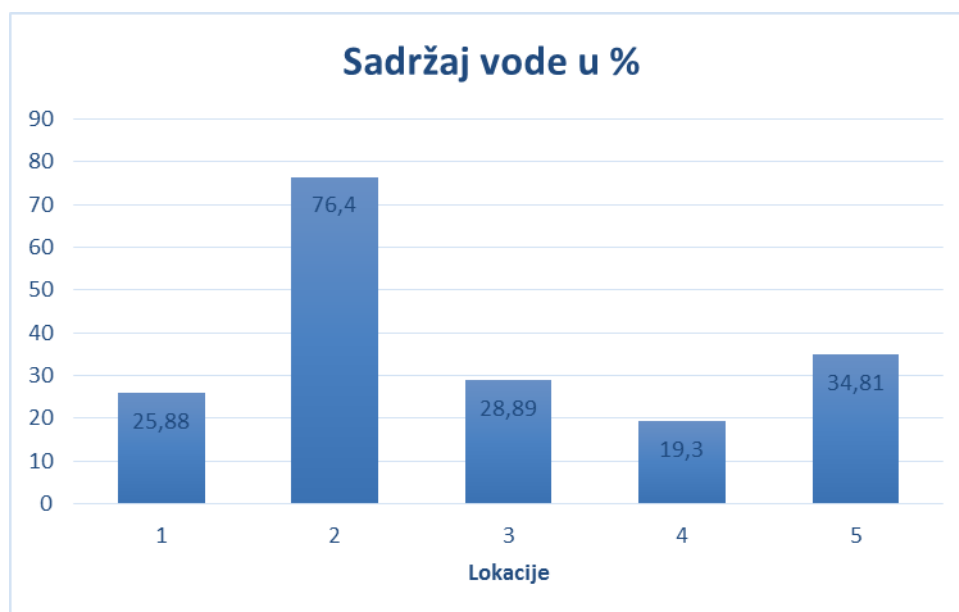


Slika 3.2.9.1. Proces pirolize
(Izvor: vlastiti izvor)

Nakon provedenih analiza, rezultati su statistički obrađeni (statistički program SAS). Provedena je analiza varijance ANOVA i LSD test. ANOVA je usporedba dva i više od dva prosjeka, a svrha joj je usporedba većeg broja prosječnih vrijednosti odjednom. Rezultat koji se dobije u ANOVI označava se F-omjerom i što je on veći, veća je i vjerovatnost da srednje razlike u rezultatima nisu dobivene slučajno. Ako je ovaj omjer statistički značajan ($p < 0,05$) može se zaključiti da između grupa uzoraka postoji statistički značajna razlika u srednjoj vrijednosti zavisne varijable (voda, pepeo, koks, cfix, hlapive tvari, ogrjevna vrijednost). Nulta hipoteza (H_0) je tvrdnja da se različite grupe uzoraka ne razlikuju u srednjoj vrijednosti. Ukoliko su ustanovljene razlike slučajne - ne odbacuje se H_0 , a ako su statistički značajne - odbacuje se H_0 . Ukoliko postoji statistički značajna razlika u srednjoj vrijednosti, pomoću post hoc testova može se saznati između kojih parova uzoraka su razlike statistički značajne i na kojoj razini značajnosti.

4. Rezultati i rasprava

Analizom ulazne sirovine biljke pajasena, dobiveni su sljedeći rezultati, te je provedena analiza varijance ANOVA, dok su razlike između srednjih vrijednosti testirane LSD testom. Na slici 4.1 grafički je prikazana srednja vrijednost sadržaja vode u svježem uzorku istraživane kulture. Raspon sadržaja vode kreće se od najmanje vrijednosti koja iznosi 19,30 % (uzorci s lokacije 4) pa sve do 76,40 % (uzorci s lokacije 2).



Slika 4.1. Sadržaj vode (%) u svježem uzorku istraživane kulture

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

Tablica 4.1. Statistička analiza sadržaja vode u uzorcima

ANOVA					
voda					
	SS	df	MS	F	p
Unutar	0,371	4	0,093	30,758	0,000
Između	0,030	10	0,003		
Ukupno	0,401	14			

Sukladno dobivenim rezultatima odbacuje se nulta hipoteza H_0 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 test sadržaja vode

Usporedbe lokacija						
Zavisna varijabla: voda						
LSD						
(I) lokacija	(J) lokacija	Razlika srednjih vrijednosti (I-J)	Std. greška	p	95% interval pouzdanosti	
					Donja granica	Gornja granica
1,00	2,00	-,4393333*	,0448286	,000	-,539218	-,339449
	3,00	-,2304667*	,0448286	,000	-,330351	-,130582
	4,00	-,0335667	,0448286	,471	-,133451	,066318
	5,00	-,1679667*	,0448286	,004	-,267851	-,068082
2,00	1,00	,4393333*	,0448286	,000	,339449	,539218
	3,00	,2088667*	,0448286	,001	,108982	,308751
	4,00	,4057667*	,0448286	,000	,305882	,505651
	5,00	,2713667*	,0448286	,000	,171482	,371251
3,00	1,00	,2304667*	,0448286	,000	,130582	,330351
	2,00	-,2088667*	,0448286	,001	-,308751	-,108982
	4,00	,1969000*	,0448286	,001	,097016	,296784
	5,00	,0625000	,0448286	,193	-,037384	,162384
4,00	1,00	,0335667	,0448286	,471	-,066318	,133451
	2,00	-,4057667*	,0448286	,000	-,505651	-,305882
	3,00	-,1969000*	,0448286	,001	-,296784	-,097016
	5,00	-,1344000*	,0448286	,013	-,234284	-,034516
5,00	1,00	,1679667*	,0448286	,004	,068082	,267851
	2,00	-,2713667*	,0448286	,000	-,371251	-,171482
	3,00	-,0625000	,0448286	,193	-,162384	,037384
	4,00	,1344000*	,0448286	,013	,034516	,234284

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-L3, L2-L4, L2-L5, L3-L4, L4-L5.

Sadržaj vode drva smanjuje njegovu ogrjevnu vrijednost. Dio energije koji se otpušta tijekom procesa izgaranja troši se na isparavanje vode te se iz tog razloga smatra gubitkom topline. Svježe sakupljena biomasa, drvena i zeljasta, obično ima sadržaj vode od 40% do 65%, ostaci poljoprivrednih usjeva (kukuruz, slama, itd.) koji su bili izloženi sušenju na zraku obično imaju 15% ili manje (Ross i sur., 2008.). Drvo se najčešće ne nalazi u suhom stanju, već ima udio vode koji može varirati od 60% do 15% (Francescato i sur., 2008.). Vidljivo je da je voda u uzorcima biomase u okviru očekivanog, osim lokacije 2, koja odstupa od očekivanog.

Pepeo predstavlja negorivu mineralnu komponentu goriva koja ostaje nakon potpunog izgaranja. Pepeo je nepoželjan u gorivu jer smanjuje njegovu toplinsku vrijednost, povećava

troškove transporta goriva i u neposrednoj okolini velikih potrošača može predstavljati ekološki problem zbog nagomilavanja većih količina (Šilić i sur., 2012.).

Varijabilnost udjela pepela u biomasi pod utjecajem je različitog sastava hranjivih mineralnih tvari u tlu od kojih se pepeo sastoji (Si, Al, Ti, Fe, Ca, Mg, K, S i P) te klimatskim uvjetima (kulture semiaridnih i aridnih područja sadrže veću koncentraciju silicija i aluminija, osnovnih komponenata pepela). Udio pepela također ovisi o vrsti biljke, dijelu same biljke, dostupnosti hranjiva, kvaliteti tla i gnojidbi (Kontek, 2016.). Količina pepela ovisi o tipu biomase, a njegov sadržaj u biomasi poljoprivrednih kultura je veći od onog u drvnoj biomasi, kao konvencionalnoj sirovini za izravno sagorijevanje. Prema Francescato i sur. (2008.), sadržaj pepela u poljoprivrednoj biomasi kreće se od 2 % do 25 %. Općenito, poljoprivredna biomasa u odnosu na šumsku ima veći udio pepela u svome sastavu.

Nakon provedenih analiza dobiveni su rezultati srednje vrijednosti sadržaja pepela u iznosu od 5,37% (lokacija 3), 5,43% (lokacija 1), 5,65% (lokacija 5), 5,83% (lokacija 4) i 6,60% (lokacija 2). Rezultati se mogu usporediti sa istraživanjem slame žitarica (Grubor i sur., 2015.) gdje su se dobiveni rezultati kretali u granicama od 2,54 do 9,04%. Prema Jurišić i sur., 2016. sadržaj pepela kod ulazne sirovine koštica trešnje i višnje kreće se od 0,88 do 1,10%. Kod invazivne vrste cigansko perje udio pepela kreće se u rasponu od 4,71 do 7,29% (Bukarica, 2018.). Kod analize voćarskih kultura dobiveni rezultati kreću se u rasponu od 2,74% za maslinu do 7,85% za smokvu (Bilandžija i sur., 2017.). McKendry (2002.) navodi da je udio pepela kod *Mischantus x giganteus* 2,8%. Antonović i sur. (2017.) navode da je udio pepela kod kukuruza 7,84%, pšenice 4,48%, ječma 4,58%, zobi 4,30%, pšenoraži 7,88%, uljane repice 2,88%, te suncokreta 3,54%. Vidljivo je da se sadržaj pepela kretao u okviru očekivanog, od 5,37 do 6,60%, ali ovu sirovinu ne čini poželjnom za izravno sagorijevanje, također analizom varijance ANOVA dobiveno je da postoji značajna razlika u sadržaju pepela među lokacijama što je vidljivo iz tablice 4.3.

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

Tablica 4.3. Statistička analiza sadržaja pepela u uzorcima

ANOVA					
pepeo					
	SS	df	MS	F	p
Između	0,012	4	0,003	9397,722	0,000
Unutar	0,000	10	0,000		
Ukupno	0,012	14			

Sukladno dobivenim rezultatima odbacuje se nulta hipoteza H_0 na razini značajnosti od 5%. Dakle, postoji statistički značajna razlika sadržaja 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 4.4.

Tablica 4.4. LSD post hoc test sadržaja pepela

Usporedbe lokacija						
Zavisna varijabla: pepeo						
LSD						
(I) lokacija	(J) lokacija	Razlika srednjih vrijednosti (I-J)	Std. greška	p	95% interval pouzdanosti	
					Donja granica	Gornja granica
1,00	2,00	,0626000*	,0004561	,000	,061584	,063616
	3,00	,0717333*	,0004561	,000	,070717	,072750
	4,00	,0717333*	,0004561	,000	,070717	,072750
	5,00	,0713667*	,0004561	,000	,070350	,072383
2,00	1,00	-,0626000*	,0004561	,000	-,063616	-,061584
	3,00	,0091333*	,0004561	,000	,008117	,010150
	4,00	,0091333*	,0004561	,000	,008117	,010150
	5,00	,0087667*	,0004561	,000	,007750	,009783
3,00	1,00	-,0717333*	,0004561	,000	-,072750	-,070717
	2,00	-,0091333*	,0004561	,000	-,010150	-,008117
	4,00	,0000000	,0004561	1,000	-,001016	,001016
	5,00	-,0003667	,0004561	,440	-,001383	,000650
4,00	1,00	-,0717333*	,0004561	,000	-,072750	-,070717
	2,00	-,0091333*	,0004561	,000	-,010150	-,008117
	3,00	,0000000	,0004561	1,000	-,001016	,001016
	5,00	-,0003667	,0004561	,440	-,001383	,000650
5,00	1,00	-,0713667*	,0004561	,000	-,072383	-,070350
	2,00	-,0087667*	,0004561	,000	-,009783	-,007750
	3,00	,0003667	,0004561	,440	-,000650	,001383
	4,00	,0003667	,0004561	,440	-,000650	,001383

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

Sadržaj koksa predstavlja ostatak suhe destilacije te što je njegov udio viši, gorivo je kvalitetnije (Francescato i sur., 2008.). Dobiveni prosječni sadržaj koksa u analiziranim uzorcima pajasena iznosi redom 13,97% (lokacija 4), 14,35% (lokacija 2), 15,59% (lokacija 1), 15,99% (lokacija 3), 16,47% (lokacija 5). Slični rezultati su dobiveni iz koštice višnje i trešnje (Jurišić i sur., 2016.) čiji je sadržaj koksa iznosio oko 16%. Također slični rezultati su i kod voćarskih kultura (Bilandžija i sur., 2017.) gdje je najmanja vrijednost kod masline 9,54%, a najviša kod smokve 16,38%. Prema Grubor i sur. (2015.) vrijednost koksa za slamu žitarica iznosi od 15% kod slame zobi do 35% kod slame tritikala. Sadržaj koksa u biomasi ciganskog perja kretao se od 16,20 do 25,16% (Bukarica, 2018.). Usporedbom sadržaja koksa kod

pajasena u odnosu na ostale kulture, može se utvrditi da istraživani uzorci imaju sličan sadržaj, te sa aspekta sadržaja koksa, pajasen je dobra sirovina za proizvodnju energije.

U tablici 4.5 prikazana je statistička analiza sadržaja koksa u uzorcima istraživane kulture.

Tablica 4.5. Statistička analiza sadržaja koksa u uzorcima

ANOVA					
koks					
	SS	df	MS	F	p
Između	0,001	4	0,000	3,004	0,072
Unutar	0,001	10	0,000		
Ukupno	0,003	14			

Sukladno dobivenim rezultatima može se zaključiti da se ne odbacuje nulta hipoteza H_0 na razini značajnosti od 5%. Dakle, ne postoji statistički značajna razlika sadržaja koksa, između uzoraka s različitih lokacija pa se ne provode post hoc testovi.

Sadržaj fiksiranog ugljika predstavlja, uz pepeo, kruti ostatak nakon gorenja odnosno ispuštanja hlapivih tvari (Jurišić i sur., 2016.). Povećanjem fiksiranog ugljika (Cfix) povećava se ogrjevna vrijednost, čime se poboljšava kvaliteta biomase. Biomasa općenito sadrži manje fiksiranog ugljika, pri čemu je prihvatljiva razina do 20% (Bukarica, 2018.). Prema Jarihu i sur. (2012.) veći sadržaj fiksiranog ugljika u biomasi pridonosi dobivanju većeg udjela biougljena u odnosu na biouglje i sintetski plin. Analizom biomase pajasena dobiveni su prosječni rezultati sadržaja fiksiranog ugljika koji se kreću u vrijednostima od 6,63% (lokacija 1), 11,60% (lokacija 2), 12,12% (lokacija 4), 14,14% (lokacija 3), 14,62% (lokacija 5). Prema Jurišić i sur. (2016.) vrijednosti fiksiranog ugljika za koštice višnje i trešnje iznose oko 15%. Vrijednosti fiksiranog ugljika u slami žitarica kreću se od oko 5 (slama zobi) do 13% (ostale slame), (Grubor i sur., 2015.). Vrijednosti fiksiranog ugljika kod ciganskog perja iznose od 4,7 do 10,02% (Bukarica, 2018.). Vrijednosti kod voćarskih kultura iznose od 5,94% za maslinu do 9,95% za badem (Bilandžija i sur., 2017.). McKendry (2002) navodi da za slamu žitarica sadržaj fiksiranog ugljika iznosi 10,7%, te za Miscanthus 15,9%. Uzimajući u obzir vrijednosti fiksiranog ugljika biomase različitih kultura i vrijednosti kod biomase pajasena, može se utvrditi da pajasen ima prihvatljive vrijednosti fiksiranog ugljika, vrijednosti su u okviru očekivanog.

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					
cfix					
	SS	df	MS	F	p
Između	0,013	4	0,003	26,875	0,000
Unutar	0,001	10	0,000		
Ukupno	0,014	14			

Sukladno dobivenim rezultatima odbacuje se nulta hipoteza H_0 na razini značajnosti od 5%. Dakle, postoji statistički značajna razlika sadržaja fiksiranog ugljika između uzoraka s različitim 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 4.7.

Tablica 4.7. LSD post hoc test sadržaja fiksiranog ugljika

Usporedba lokacija						
Zavisna varijabla: cfix						
LSD						
(I) lokacija	(J) lokacija	Razlika srednjih vrijednosti (I-J)	Std. greška	p	95% interval pouzdanosti	
					Donja granica	Gornja granica
1,00	2,00	-,0470333*	,0089866	,000	-,067057	-,027010
	3,00	-,0737000*	,0089866	,000	-,093723	-,053677
	4,00	-,0617333*	,0089866	,000	-,081757	-,041710
	5,00	-,0845000*	,0089866	,000	-,104523	-,064477
2,00	1,00	,0470333*	,0089866	,000	,027010	,067057
	3,00	-,0266667*	,0089866	,014	-,046690	-,006643
	4,00	-,0147000	,0089866	,133	-,034723	,005323
	5,00	-,0374667*	,0089866	,002	-,057490	-,017443
3,00	1,00	,0737000*	,0089866	,000	,053677	,093723
	2,00	,0266667*	,0089866	,014	,006643	,046690
	4,00	,0119667	,0089866	,213	-,008057	,031990
	5,00	-,0108000	,0089866	,257	-,030823	,009223
4,00	1,00	,0617333*	,0089866	,000	,041710	,081757
	2,00	,0147000	,0089866	,133	-,005323	,034723
	3,00	-,0119667	,0089866	,213	-,031990	,008057
	5,00	-,0227667*	,0089866	,030	-,042790	-,002743
5,00	1,00	,0845000*	,0089866	,000	,064477	,104523
	2,00	,0374667*	,0089866	,002	,017443	,057490
	3,00	,0108000	,0089866	,257	-,009223	,030823
	4,00	,0227667*	,0089866	,030	,002743	,042790

Vidljivo je 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, L2-L3, L2-L5, L3-L5, L4-L5.

Tijekom procesa gorenja, biomasa se razgrađuje na hlapive plinove i kruti ostatak. Za biomasu je tipično da ima visok sadržaj hlapivih tvari, do 80% (Jurišić i sur., 2016.). Očekivani raspon hlapivih tvari za biomasu je od 65 do 85%. Goriva koja imaju visoki sadržaj hlapivih tvari imaju manju energetska vrijednost (Jurišić i sur., 2016.). Pri previsokoj koncentraciji hlapivih tvari, biomasa je izuzetno lako zapaljiva već i pri nižim temperaturama za razliku od fosilnih goriva, ali je to nepoželjno svojstvo zbog naglog oslobađanja energije pri nižim temperaturama pa takva goriva imaju nižu energetska vrijednost (Kontek, 2016.).

Provedenim analizama biomase pajasena dobiveni su rezultati za hlapive tvari u iznosu od 78,88% (lokacija 5), 79,38% (lokacija 3), 81,11% (lokacija 1), 81,39% (lokacija 4), 82,36% (lokacija 2). Prema Bilandžija i sur. (2017.) vrijednosti hlapivih tvari za voćarske kulture su od 77,19% za badem do 82,26% za maslinu. Vrijednosti za koštice višnje i trešnje se kreću između 67,47% i 74,25% (Jurišić i sur., 2016.). Prema Grubor i sur. (2015.) hlapive tvari za slamu tritikale iznose 34,62%. Sadržaj hlapivih tvari kod ciganskog perja kreće se od 61 do 71,41% (Bukarica, 2018.). Prema Vassilev i sur. (2010.) drvena biomasa ima 84,1% hlapivih tvari, dok prema McKendry (2002.) drvena biomasa ima 82% hlapivih tvari. Također, prema McKendry slama pšenice sadrži 59% hlapivih tvari, a slama ječma 46%. Iz usporedbe rezultata vidljivo je da biomasa pajasena ima visoku vrijednost hlapivih tvari, što nije poželjno svojstvo i nije pogodno za izravno izgaranje.

U tablici 4.8 prikazana je statistička analiza sadržaja hlapivih tvari u uzorcima istraživane kulture.

Tablica 4.8. Statistička analiza sadržaja hlapivih tvari u uzorcima

ANOVA					
hlapive tvari					
	SS	df	MS	F	p
Između	0,000	4	0,000	9,229	0,002
Unutar	0,000	10	0,000		
Ukupno	0,000	14			

Sukladno dobivenim rezultatima odbacuje se nulta hipoteza H_0 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 4.9.

Tablica 4.9. LSD post hoc test sadržaja hlapivih tvari

Usporedba lokacija						
Zavisna varijabla: hlapive tvari						
LSD						
(I) lokacija	(J) lokacija	Razlika srednjih vrijednosti (I-J)	Std. greška	p	95% interval pouzdanosti	
					Donja granica	Gornja granica
1,00	2,00	,0005767*	,0001804	,010	,000175	,000979
	3,00	,0009100*	,0001804	,001	,000508	,001312
	4,00	,0008433*	,0001804	,001	,000441	,001245
	5,00	,0009100*	,0001804	,001	,000508	,001312
2,00	1,00	-,0005767*	,0001804	,010	-,000979	-,000175
	3,00	,0003333	,0001804	,094	-,000069	,000735
	4,00	,0002667	,0001804	,170	-,000135	,000669
	5,00	,0003333	,0001804	,094	-,000069	,000735
3,00	1,00	-,0009100*	,0001804	,001	-,001312	-,000508
	2,00	-,0003333	,0001804	,094	-,000735	,000069
	4,00	-,0000667	,0001804	,719	-,000469	,000335
	5,00	,0000000	,0001804	1,000	-,000402	,000402
4,00	1,00	-,0008433*	,0001804	,001	-,001245	-,000441
	2,00	-,0002667	,0001804	,170	-,000669	,000135
	3,00	,0000667	,0001804	,719	-,000335	,000469
	5,00	,0000667	,0001804	,719	-,000335	,000469
5,00	1,00	-,0009100*	,0001804	,001	-,001312	-,000508
	2,00	-,0003333	,0001804	,094	-,000735	,000069
	3,00	,0000000	,0001804	1,000	-,000402	,000402
	4,00	-,0000667	,0001804	,719	-,000469	,000335

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

Najvažnija značajka svakog goriva je ogrjevna vrijednost. To je toplina koja se oslobađa pri izgaranju goriva s kisikom pri standardnim uvjetima. Određuje se mjerenjem u kalorimetru, pri čemu zrak i gorivo moraju doći u prostor za izgaranje s istom temperaturom, a nastali produkti izgaranja moraju biti ohlađeni na istu temperaturu. Gornja ogrjevna vrijednost je ukupna energija koja se dobiva izgaranjem goriva, tj. predstavlja najveću količinu energije koja se može dobiti izgaranjem goriva (McKendry, 2002.).

Analizom biomase pajasena dobiveni su prosječni rezultati ogrjevne vrijednosti redom 15,96 MJ/kg (lokacija 1), 16,15 MJ/kg (lokacija 4), 16,35 MJ/kg (lokacija 3), 17,03 MJ/kg (lokacija 2), 17,29 MJ/kg (lokacija 5). Gornje ogrjevne vrijednosti za voćarske kulture kreću se od 16,38 MJ/kg za maslinu do 18,22 MJ/kg za badem (Bilandžija i sur., 2017.). Prema Bilandžija i sur

(2013.) srednje vrijednosti za travu *Miscanthus x giganteus* iznose oko 18 MJ/kg. Gornja ogrjevna vrijednost za koštice višnje i trešnje iznosi oko 20 MJ/kg. Gornja ogrjevna vrijednost za slamu ječma 16,41 MJ/kg, a za slamu zobi 18,21 MJ/kg (Grubor i sur., 2015.). Kod biomase pira (stabljika) gornja ogrjevna vrijednost je 17,3% (Jovičić i sur., 2015.). Gornje ogrjevne vrijednosti biomase ciganskog perja kreću se od 15,63 do 16,75 MJ/kg (Bukarica, 2018.). Prema McKendry (2002.) gornja ogrjevna vrijednost za slamu žitarica iznosi 17,3%, a za *Miscanthus x giganteus* iznosi 18,5%. Usporedbom ovih vrijednosti vidljivo je da su ogrjevne vrijednosti pajasena slične kao kod ostalih kultura.

U tablici 4.1.0 prikazana je statistička analiza ogrjevne vrijednosti u uzorcima istraživane kulture.

Tablica 4.10. Statistička analiza sadržaja ogrjevne vrijednosti u uzorcima

ANOVA					
ogrjevna vrijednost					
	SS	df	MS	F	p
Između	2,866	4	0,716	5,948	0,028
Unutar	0,723	6	0,120		
Ukupno	3,589	10			

Sukladno dobivenim rezultatima možemo odbaciti nultu hipotezu H₀ na razini značajnosti od 5%. Dakle, postoji statistički značajna razlika ogrjevne vrijednosti između uzoraka s različitim lokacija.

Post hoc LSD testom utvrđeno je na kojim se točno lokacijama javljaju statistički značajne razlike u ogrjevnoj vrijednosti, kao što je vidljivo iz tablice 4.11.

Tablica 4.11. LSD post hoc test ogrjevne vrijednosti

Usporedba lokacija						
Zavisna varijabla: ogrjevna vrijednost						
LSD						
(I) lokacija	(J) lokacija	Razlika srednjih vrijednosti (I-J)	Std. greška	p	95% interval pouzdanosti	
					Donja granica	Gornja granica
1,00	2,00	-1,0683333*	,3168348	,015	-1,843600	-,293067
	3,00	-,3850000	,3470751	,310	-1,234262	,464262
	4,00	-,1850000	,3470751	,613	-1,034262	,664262
	5,00	-1,3300000*	,3470751	,009	-2,179262	-,480738
2,00	1,00	1,0683333*	,3168348	,015	,293067	1,843600
	3,00	,6833333	,3168348	,074	-,091933	1,458600
	4,00	,8833333*	,3168348	,032	,108067	1,658600
	5,00	-,2616667	,3168348	,440	-1,036933	,513600
3,00	1,00	,3850000	,3470751	,310	-,464262	1,234262
	2,00	-,6833333	,3168348	,074	-1,458600	-,091933
	4,00	,2000000	,3470751	,585	-,649262	1,049262
	5,00	-,9450000*	,3470751	,035	-1,794262	-,095738
4,00	1,00	,1850000	,3470751	,613	-,664262	1,034262
	2,00	-,8833333*	,3168348	,032	-1,658600	-,108067
	3,00	-,2000000	,3470751	,585	-1,049262	,649262
	5,00	-1,1450000*	,3470751	,016	-1,994262	-,295738
5,00	1,00	1,3300000*	,3470751	,009	,480738	2,179262
	2,00	,2616667	,3168348	,440	-,513600	1,036933
	3,00	,9450000*	,3470751	,035	,095738	1,794262
	4,00	1,1450000*	,3470751	,016	,295738	1,994262

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

Biomasa je kompleksna heterogena smjesa sastavljena od ključnih strukturnih komponenti kao što su celuloza, hemiceluloza i lignin. Lignocelulozna biomasa sastoji se od 35 do 55% celuloze, 20 do 40% hemiceluloze i 10 do 25% lignina (Antonović i sur., 2017.), a najvažnija svojstva su vrlo dobra čvrstoća, zapaljivost, biorazgradivost i reaktivnost. Lignin pruža čvrstoću strukturi i biomasa s višim udjelom lignina je pogodnija za proizvodnju električne i/ili toplinske energije procesom izravnog izgaranja (Grubor i sur., 2015.).

U tablici 4.12 prikazani su rezultati analize za lignocelulozni sastav istraživane kulture.

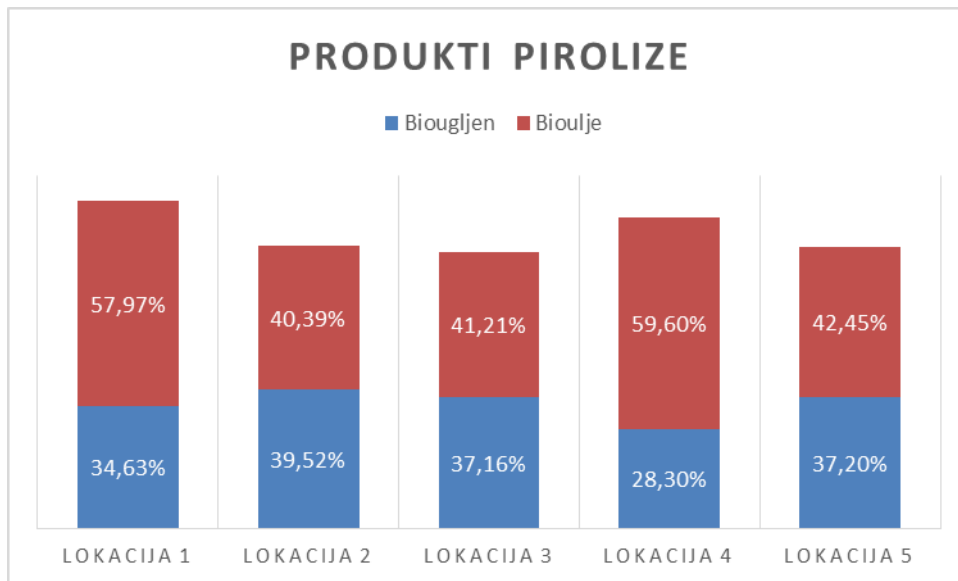
Tablica 4.12. Lignocelulozni sastav istraživane kulture

		lokacija 1	lokacija 2	lokacija 3	lokacija 4	lokacija 5
Celuloza	(%)	49,12	49,64	45,50	48,46	49,75
Lignin	(%)	25,85	25,37	27,79	25,94	25,33
Hemiceluloza	(%)	20,01	18,21	16,54	17,94	18,64

Iz dobivenih rezultata vidljivo je da se udio celuloze kreće u rasponu od 45,50 do 49,75%, udio lignina od 25,33 do 27,79% i udio hemiceluloze od 16,54 do 20,01%. Podaci se mogu usporediti s nekim literaturnim podacima. Prema Grubor i sur. (2015.) udio celuloze kod slame žitarica se kreće u rasponu od 30,64% za zob do 45,66% za ječam, udio lignina od 22,28% za pšenicu do 29,66% za ječam, a udio hemiceluloze od 17,56% za ječam do 39,67% za zob. Udio celuloze kod kukuruza iznosi 33,09%, udio lignina iznosi 29,71%, a hemiceluloze 23,48%. Kod suncokreta udio celuloze je 38,67%, udio lignina 24,86%, a udio hemiceluloze 29,84%. Udio celuloze za uljanu repicu je 38,67%, lignina 24,86%, a hemiceluloze 29,84% (Antonović i sur., 2017.). Cigansko perje ima udio celuloze od 17,64 do 22,99%, lignina od 16,83 do 21,31%, a hemiceluloze od 43,28 do 52,12% (Bukarica, 2018.). McKendry (2002.) navodi da je kod slame pšenice udio celuloze od 33-40%, udio lignina 25-20%, te udio hemiceluloze od 20-25%. Usporedbom dobivenih vrijednosti s literaturnim podacima vidljivo je da biomasa pajasena sadrži nešto viši udio celuloze, niži udio hemiceluloze, te viši udio lignina. S obzirom da je poželjan viši udio lignina u biomasi, može se zaključiti da je biomasa pajasena pogodna za neposredno izgaranje.

Nakon analiza ulaznih sirovina, provedena je piroliza uzoraka pri temperaturi od približno 400°C, pri čemu se računski utvrdio udio proizvedenog biougljena i bioulja.

Na slici 4.2. grafički je prikazana srednja vrijednost udjela bioulja i biougljena nakon provedene pirolize istraživane kulture.



Slika 4.2. Produkti pirolize-biougljen i bioulje

Ovisno o vrsti uvjeta postupka, dobije se biougljen bogat ugljikom (prinos: 10-35%), kondenzirajući plinovi (prinos: 30-70%) i ne-kondenzirajući plinovi koji se očituju kao bioulje (prinos: 15-35%). Kemijski sastav bioulja određuju mnogi čimbenici, kao što su vrsta biomase, predobrada sirovine (veličina i oblik čestice, sadržaj vlage i pepela), uvjeti pirolize (temperatura, brzina zagrijavanja, vremensko trajanje, tlak, plinovito okruženje), kao i filtracija pare i kondenzata (Krička i sur., 2017.).

Rezultati vidljivi na slici 4.2 prikazuju dobivene proizvode dodanih vrijednosti biougljena i bioulja nastalih procesom pirolize. Vidljivo je kako je najveća količina biougljena (39,52%) dobivena analizom uzoraka lokacije 2, a najmanja količina biougljena (28,30%) dobivena analizom uzoraka lokacije 4. Također je vidljivo kako je najveća količina bioulja (59,60%) dobivena analizom uzoraka lokacije 4, a najmanja količina bioulja (40,39%) dobivena analizom uzoraka lokacije 2. Najveća količina biougljena kod ciganskog perja iznosi 34,5% , a najmanja 23,24% (Bukarica I., 2018.). Sadržaj biougljena kod slame žitarica ide od oko 55 do 75% (Grubor i sur., 2015.). Sadržaj biougljena od koštica višnje i trešnje ide od 61,11 do 64,89% (Jurišić i sur., 2016.). Prema Lendler (2018.) vrijednosti biougljena za koštice šljive, marelice i breskve su od 25,10 do 35,19%. Sadržaj biougljena kod slame soje iznosi 21,4% dok kod slame zobi iznosi 28,6% (Brankov, 2016.). Sadržaj biougljena kod stabljike suncokreta iznosi 69,55%, kod kukuruzovine iznosi 61,41%, kod slame soje iznosi 49,07%, kod slame pšenice 60,27% (Krička i sur., 2016.). Iz usporedbe vrijednosti vidljivo je da pajasen ima slične vrijednosti sadržaja ugljena kao ostale kulture, ali usporedno s istraživanjima postotnih udjela biougljena dobivenog pirolizom koštica trešnje 61,11% i višnje 64,89% (Jurišić i sur., 2016.) može se uočiti slabiji potencijal proizvodnje biougljena u odnosu na navedene literaturne podatke.

Biougljen je po svom sastavu vrlo heterogen, a sastoji se od stabilnih i reaktivnih komponenti (Jurišić i sur., 2016.). Varijacije u udjelu pepela u biougljenu ovise o jednakim uvjetima kao i kod sirove biomase.

Srednje vrijednosti sadržaja pepela u uzorcima biougljena nakon pirolize se kreću od 17,91% (lokacija 1), 19,30% (lokacija 3), 23,91% (lokacija 4), 24,61% (lokacija 5), 24,98% (lokacija 2). Sadržaj pepela u biougljenu od koštica trešnje i višnje iznosi oko 3% (Jurišić i sur., 2016.). Pepeo kod biougljena od slame žitarica ide od 9,15 do 16,53% (Grubor i sur., 2015.). Sadržaj pepela u uzorcima biougljena ciganskog perja kreće se od 18,26 do 26,99% (Bukarica, 2018.). Pepeo biougljena voćarskih kultura kreće se od 7,48% kod masline do 20,06% kod smokve (Bilandžija i sur., 2017.). Biougljen kukuruzovine sadrži 12,30% pepela, slame pšenice 11,99%, slame soje 11,83%, stabljike suncokreta 7,61%, a stabljike uljane repice 7,64%. Također biougljen koštice trešnje sadrži 2,79% pepela, koštice višnje 3,67%, a koštice masline 6,23% (Krička i sur., 2016.). Usporedbom vrijednosti pepela kod biougljena pajasena s ostalim kulturama vidljivo je da vrijednosti mnogo odskakuju, kod pajasena su mnogo više, uzimajući u obzir da veće količine pepela uzrokuju stvaranje čađe i korozije u sustavima za izgaranje biomase (Grubor i sur., 2015.), može se zaključiti da biougljen pajasena nije pogodna sirovina za neposredno izgaranje. Ovaj biougljen ne odgovara kvalitetom biougljenima drugih tipova biomase.

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

Tablica 4.13. Statistička analiza sadržaja pepela u uzorcima

ANOVA					
pepeo					
	SS	df	MS	F	p
Između	0,001	4	0,000	16,823	0,000
Unutar	0,000	10	0,000		
Ukupno	0,002	14			

Sukladno dobivenim rezultatima odbacuje se nulta hipoteza H_0 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 4.14.

Tablica 4.14. LSD post hoc test sadržaja pepela

Usporedba lokacija						
Zavisna varijabla: pepeo						
LSD						
(I) lokacija	(J) lokacija	Razlika srednjih vrijednosti (I-J)	Std. greška	p	95% interval pouzdanosti	
					Donja granica	Gornja granica
1,00	2,00	-,0205000*	,0036098	,000	-,028543	-,012457
	3,00	,0050333	,0036098	,193	-,003010	,013076
	4,00	-,0093333*	,0036098	,027	-,017376	-,001290
	5,00	-,0148233*	,0036098	,002	-,022866	-,006780
2,00	1,00	,0205000*	,0036098	,000	,012457	,028543
	3,00	,0255333*	,0036098	,000	,017490	,033576
	4,00	,0111667*	,0036098	,011	,003124	,019210
	5,00	,0056767	,0036098	,147	-,002366	,013720
3,00	1,00	-,0050333	,0036098	,193	-,013076	,003010
	2,00	-,0255333*	,0036098	,000	-,033576	-,017490
	4,00	-,0143667*	,0036098	,003	-,022410	-,006324
	5,00	-,0198567*	,0036098	,000	-,027900	-,011814
4,00	1,00	,0093333*	,0036098	,027	,001290	,017376
	2,00	-,0111667*	,0036098	,011	-,019210	-,003124
	3,00	,0143667*	,0036098	,003	,006324	,022410
	5,00	-,0054900	,0036098	,159	-,013533	,002553
5,00	1,00	,0148233*	,0036098	,002	,006780	,022866
	2,00	-,0056767	,0036098	,147	-,013720	,002366
	3,00	,0198567*	,0036098	,000	,011814	,027900
	4,00	,0054900	,0036098	,159	-,002553	,013533

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

Prosječni sadržaj koksa u biougljenu pajasena se kreće u vrijednostima od 63,10% (lokacija 2), 63,34% (lokacija 3), 63,57% (lokacija 1), 67,64% (lokacija 4), 68,21% (lokacija 5). Kod slame žitarica sadržaj koksa u biougljenu se kreće od oko 50 do oko 63% (Grubor i sur., 2015.). Vrijednosti sadržaja koksa u biougljenu koštica breskve, šljive i marelice se kreću od 81,25 do 84,86% (Lendler, 2018.). Sadržaj koksa u uzorcima biougljena ciganskog perja kreće se od 62,67 do 68,03% (Bukarica, 2018.). Prema Krička i sur. (2016.) sadržaj koksa u biougljenu kukuruzovine iznosi 63,07%, u biougljenu slame pšenice iznosi 59,93%, u biougljenu stabljike suncokreta iznosi 41,65%, u biougljenu stabljike uljane repice iznosi 42,43%. Visoki sadržaj koksa u biougljenu poželjno je svojstvo te se može zaključiti kako biougljen biomase sa svih lokacija pokazuje i više nego zadovoljavajuće rezultate po tom pitanju.

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

Tablica 4.15. Statistička analiza sadržaja koksa u uzorcima

ANOVA					
koks					
	SS	df	MS	F	p
Između	0,000	4	0,000	0,360	0,832
Unutar	0,003	10	0,000		
Ukupno	0,004	14			

Sukladno dobivenim rezultatima odbacuje se nulta hipoteza H_0 na razini značajnosti od 5%. Dakle, ne postoji statistički značajna razlika sadržaja koksa između uzoraka s različitih lokacija, pa se ne provode post hoc testovi.

Prosječni sadržaj fiksiranog ugljika u uzorcima biougljena pajasena se kreće u rasponu od 54,60 % (lokacija 1), 60,34% (lokacija 2), 61,49% (lokacija 3), 65,79% (lokacija 4), 66,37% (lokacija 5). Sadržaj fiksiranog ugljika u biougljenu koštica višnje i trešnje iznosi od 50,12 do 56,46% (Jurišić i sur., 2016.). Sadržaj fiksiranog ugljika kod biougljena ciganskog perja kreće se od 38,64 do 46,69% (Bukarica, 2018.), a kod biougljena slame žitarica od 33,15 do 50,25% (Grubor i sur., 2015.). Kod biougljena voćarskih kultura vrijednosti su od 55,03% za smokvu do 64,56% za vinovu lozu (Bilandžija i sur., 2017.). Sadržaj fiksiranog ugljika u uzorcima biougljena kukuruzovine iznosi 50,78%, u biougljenu slame pšenice iznosi 57,94%, u biougljenu stabljike suncokreta 34,04%, te u biougljenu stabljike uljane repice 34,79%. Sadržaj fiksiranog ugljika u biougljenu koštice masline iznosi 50,19% (Krička i sur., 2016.). Usporedbom rezultata vidljive su sličnosti u vrijednostima između pajasena i drugih kultura.

U tablici 4.16 prikazana je statistička analiza sadržaja fiksiranog ugljika u uzorcima istraživane kulture.

Tablica 4.16. Statistička analiza sadržaja fiksiranog ugljika u uzorcima

ANOVA					
Fiksirani ugljik					
	SS	df	MS	F	p
Između	0,006	4	0,001	0,997	0,453
Unutar	0,015	10	0,001		
Ukupno	0,020	14			

Sukladno dobivenim rezultatima odbacuje se nulta hipoteza H_0 na razini značajnosti od 5%. Dakle, ne postoji statistički značajna razlika sadržaja fiksiranog ugljika između uzoraka s različitih lokacija pa se ne provode post hoc testovi.

Vrijednosti hlapivih tvari u biougljenu pajasena iznose: 27,14% (lokacija 5), 27,71% (lokacija 4), 32,01% (lokacija 3), 33,14% (lokacija 1), 33,61% (lokacija 2). Vrijednosti hlapivih tvari u biougljenu ciganskog perja tvari kreću se od 31,9 do 37,03% (Bukarica, 2018.). Sadržaj hlapivih tvari kod biougljena voćarskih kultura kreću se od 24,91% za smokvu do 32,13% za maslinu (

Bilandžija i sur., 2017.). Vrijednosti sadržaja hlapivih tvari u biougljenu slame žitarica kreću se od 37,11 do 50,31% (Grubor i sur., 2015.), a kod biougljena koštica trešnje i višnje od 39,87 do 47,09% (Jurišić i sur., 2016.). U biougljenu kukuruzovine sadržaj hlapivih tvari iznosi 36,93%, u biougljenu stabljike suncokreta iznosi 58,35 %, te u biougljenu stabljike uljane repice iznosi 57,57% (Krička i sur., 2016.). Usporedbom vrijednosti vidljivo je da biougljen pajasena sadrži približno jednako hlapivih tvari kao i biougljen ostalih kultura.

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

Tablica 4.17. Statistička analiza sadržaja hlapivih tvari u uzorcima

ANOVA					
hlapive					
	SS	df	MS	F	p
Između	0,000	4	0,000	1,806	0,204
Unutar	0,000	10	0,000		
Ukupno	0,000	14			

Sukladno dobivenim rezultatima odbacuje se nulta hipoteza H_0 na razini značajnosti od 5%. Dakle, ne postoji statistički značajna razlika sadržaja hlapivih tvari između uzoraka s različitim lokacija pa se ne provode post hoc testovi.

Nakon provedene analize kalorimetrijom dobivene su ogrjevne vrijednosti za biougljen i kreću se od 22,79 MJ/kg (lokacija 2), 23,12 MJ/kg (lokacija 5), 24,26 MJ/kg (lokacija 1), 24,40 MJ/kg (lokacija 4), 24,49 MJ/kg (lokacija 5). Prema Grubor i sur. (2015.) ogrjevna vrijednost biougljena slame žitarica se kreće od 24,72 MJ/kg za pšenicu do 25,70 MJ/kg za zob. Za ogrjevnu vrijednost biougljena koštica višnje i trešnje vrijednosti su 25,21 MJ/kg do 25,70 MJ/kg (Jurišić i sur., 2016.), a za voćarske kulture su od 25,5 MJ/kg za maslinu do 26,91 MJ/kg za badem (Bilandžija i sur., 2017.). Ogrjevne vrijednosti kod ciganskog perja se kreću od 23,23 MJ/kg do 26,43 MJ/kg (Bukarica, 2018.). Gornja ogrjevna vrijednost biougljena utvrđena u ovome istraživanju je u skladu sa literaturnim navodima, obzirom da se navedeni parametar uglavnom kreće od 21,00 MJ/kg (kukuruzovina) do 31,00 MJ/kg (vrba), (Bilandžija, 2017.). Vrijednosti za ovaj parametar se kreću unutar granica ogrjevne vrijednosti drugih potencijalnih energetski korisnih poljoprivrednih izvora, stoga ova kultura nudi mogućnost energetskog iskorištenja.

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

Tablica 4.18. Statistička analiza ogrjevne vrijednosti u uzorcima

ANOVA					
ogrjevna					
	SS	df	MS	F	p
Između	5,119	4	1,280	56,926	0,000
Unutar	0,112	5	0,022		
Ukupno	5,231	9			

Sukladno dobivenim rezultatima možemo odbaciti nultu hipotezu H_0 na razini značajnosti od 5%. Dakle, postoji statistički značajna razlika u ogrjevnoj vrijednosti između uzoraka s različitim lokacija.

Post hoc LSD testom utvrđeno je na kojim se točno lokacijama javljaju statistički značajne razlike u ogrjevnoj vrijednosti, kao što je vidljivo iz tablice 4.19.

Tablica 4.19. LSD post hoc test ogrjevne vrijednosti

Usporedba lokacija						
Zavisna varijabla: ogrjevna vrijednost						
LSD						
(I) lokacija	(J) lokacija	Razlika srednjih vrijednosti (I-J)	Std. greška	p	95% interval pouzdanosti	
					Donja granica	Gornja granica
1,00	2,00	1,4750000*	,1499333	,000	1,089584	1,860416
	3,00	-,2350000	,1499333	,178	-,620416	,150416
	4,00	-,1450000	,1499333	,378	-,530416	,240416
	5,00	1,1450000*	,1499333	,001	,759584	1,530416
2,00	1,00	-1,4750000*	,1499333	,000	-1,860416	-1,089584
	3,00	-1,7100000*	,1499333	,000	-2,095416	-1,324584
	4,00	-1,6200000*	,1499333	,000	-2,005416	-1,234584
	5,00	-,3300000	,1499333	,079	-,715416	,055416
3,00	1,00	,2350000	,1499333	,178	-,150416	,620416
	2,00	1,7100000*	,1499333	,000	1,324584	2,095416
	4,00	,0900000	,1499333	,574	-,295416	,475416
	5,00	1,3800000*	,1499333	,000	,994584	1,765416
4,00	1,00	,1450000	,1499333	,378	-,240416	,530416
	2,00	1,6200000*	,1499333	,000	1,234584	2,005416
	3,00	-,0900000	,1499333	,574	-,475416	,295416
	5,00	1,2900000*	,1499333	,000	,904584	1,675416
5,00	1,00	-1,1450000*	,1499333	,001	-1,530416	-,759584
	2,00	,3300000	,1499333	,079	-,055416	,715416
	3,00	-1,3800000*	,1499333	,000	-1,765416	-,994584
	4,00	-1,2900000*	,1499333	,000	-1,675416	-,904584

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

5. Zaključak

Pretpostavka za kvalitetnu energetska sirovinu iz biomase je: nizak sadržaj vode; nizak sadržaj pepela; nizak sadržaj fiksiranog ugljika; visoka gornja ogrjevna vrijednost te visok sadržaj koksa.

Nakon provedenih analiza ulazne sirovine biljke pajasena (*Ailanthus altissima*) te na temelju analiza provedenih na biougljenu dobivenom putem procesa pirolize, može se zaključiti sljedeće:

- Analiza biomase uzoraka s pet lokacija pokazala je da postoji signifikantna razlika među lokacijama u sadržaju vode, pepela, hlapive tvari, ogrjevne vrijednosti i fiksiranom ugljiku, a ne postoji signifikantna razlika među lokacijama u sadržaju koksa
- Istraživana biomasa pokazala je sadržaj vode u vrijednosti od 19,3 do 76,4%. Ako se uzme u obzir da je očekivani okvir od 15 do 60% (za razne vrste biomase), onda je vidljivo da se rezultati uklapaju, međutim sadržaj vode sa lokacije 2 izuzetno odskače od poželjne vrijednosti. Može se zaključiti da pajasen s obzirom na visoke vrijednosti sadržaja vode nije poželjna sirovina za izgaranje i proizvodnju energije.
- Analize sadržaja pepela u biomasi i biougljenu pokazale su visok sadržaj pepela u obje situacije, na temelju čega se može zaključiti da sa aspekta sadržaja pepela pajasen nije poželjna sirovina za izravno izgaranje.
- S obzirom da je viša vrijednost koksa poželjno svojstvo pri izgaranju, analizom su utvrđene zadovoljavajuće vrijednosti kod pajasena. S aspekta koksa, biomasa pajasena, isto kao i biougljen, je dobra sirovina za proizvodnju energije.
- Vrijednosti sadržaja fiksiranog ugljika kod pajasena slične su kao kod drugih kultura, vrijednosti su u okviru očekivanog. S obzirom na to povoljna je sirovina za izgaranje.
- Prema dobivenim vrijednostima za sadržaj hlapivih tvari u biomasi, pajasen nije poželjna sirovina za izravno izgaranje, dok su vrijednosti kod biougljena duplo niže, što predstavlja poželjno svojstvo.
- Analizom lignoceluloznog sastava utvrđen je niži udio celuloze i hemiceluloze, a viši udio lignina, što je poželjno svojstvo za izravno izgaranje i proizvodnju energije
- Gornja ogrjevna vrijednost kod biomase i biougljena pajasena slična je kao kod drugih energetskih kultura, što nudi mogućnost njegove energetske iskoristivosti.
- Udio dobivenog biougljena kreće se u granici od 28,30 do 39,52%, a biouglja od 41,21 do 59,60%. S obzirom na udio dobivenog biougljena, a u usporedbi sa drugim literaturnim podacima, pajasen pokazuje malo manji potencijal u proizvodnji biougljena.

6. Literatura

1. Antonović A., Krička T., Matin A., Voća N., Jurišić V., Bilandžija N., Grubor M., Stanešić J. (2017). Lignocelulozni sastav biomase važnijih uljarica i žitarica u republici Hrvatskoj. Izvorni znanstveni rad. 52. Hrvatski i 12. Međunarodni Simpozij Agronoma, Dubrovnik, Hrvatska. 623-627.
2. Bilandžija N., Jurišić V., Leto J., Matin A., Voća N. (2013.). Energetske karakteristike trave *Miscanthus x giganteus* kao CO₂-neutralnog goriva. Izvorni znanstveni rad. 48. hrvatski i 8. međunarodni simpozij agronoma, Dubrovnik. 55-59.
3. Bilandžija N., Jurišić V., Matin A., Krička T., Grubor M., Antonović A., Voća N., Slipčević D. (2017.). Piroliza orezanih ostataka važnijih mediteranskih voćnih kultura – energetska karakterizacija biougljena. Izvorni znanstveni rad. 52nd Croatian and 12th International Symposium on Agriculture, Dubrovnik, Hrvatska. 632-636.
4. Bonefačić I. (2012). Analiza utecaja oblika i veličine čestica biomase pri izgaranju. Doktorska disertacija, Rijeka.
5. Brankov S. (2016.). Mogućnosti korišćenja energije pirolizom poljoprivredne biomase. Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad.
6. Bukarica I. (2018.). Energetski potencijal invazivne biljne vrste cigansko perje (*Asclepias syriaca* L.). Diplomski rad, Agronomski fakultet, Zagreb.
7. Čakija Andreja (2007). Značaj poljoprivrede u korištenju obnovljivih izvora energije. II. Stručni skup s međunarodnim sudjelovanjem, Osijek.
8. Dumitrașcu M., Grigorescu I., Kucsicsa G., Doroftei M., Năstase M., Dragotă C. (2014). Invasive terrestrial plant species in the Romanian protected areas a geographical approach. Rev. Roum. Géogr./Rom. Journ. Geogr. București, 145-160.
9. EC. (2014): Uredba (EU) br. 1143/2014 Europskog parlamenta i Vijeća od 22. listopada 2014. o sprječavanju i upravljanju unošenja i širenja invazivnih stranih vrsta, Bruxelles.
10. EC. (2017): 2017/1263 od 12. srpnja 2017. Provedbena uredba Komisije o ažuriranju popisa invazivnih stranih vrsta koje izazivaju zabrinutost u Uniji, Bruxelles.
11. Francescato V., Antonini E., Bergomi L. Z. (2008). Priručnik o gorivima iz drvne biomase. Regionalna energetska agencija Sjeverozapadne Hrvatske, Zagreb.
12. 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, Dubrovnik, Hrvatska, 641-645.
13. Grubor M., Krička T., Voća N., Jurišić V., Bilandžija N., Antonović A., Matin A. (2015). Iskoristivost slame žitarica za proizvodnju energije. Izvorni znanstveni članak. Zagreb, 2: 63-68.
14. Hodolič J., Vukelić Đ., Agarski B., Huđik Č. (2007). Briketiranje biomase i inženjerstvo zaštite životne sredine. 2. Nacionalna konferencija o kvaliteti života.
15. Hrvatska agencija za okoliš i prirodu (2017). O invazivnim stranim vrstama. [online] < <http://www.haop.hr/hr/tematska-podrucja/prirodne-vrijednosti-stanje-i-ocuvanje/ugrozenost-vrsta-i-stanista/strane-vrste/o> >

16. Hu, S. Y. (1979). *Ailanthus*. *Arnoldia*, 39, 29 – 50.
17. Ingo K., Ina S. (2007). Biological flora of Central Europe: *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. Institute of Ecology, Technical University Berlin. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 8. 207–237.
18. Jahirul M. I., Rasul M. G., Chowdhury A. A, Ashwat N. (2012). Biofuels production through biomass pyrolysis-a technological review. *Energies*. 5(12): 4952-5001.
19. Jelčić B. (2016). Energetski potencijal peleta proizvedenih iz poljoprivredne biomase u Hrvatskoj. Diplomski rad, Agronomski fakultet, Zagreb.
20. Jovičić N., Matin A., Kalambura S. (2015.). Energetski potencijal biomase pira. Izvorni znanstveni članak. Zagreb, 1:23-28.
21. 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. Izvorni znanstveni rad. 51st Croatian and 11th International Symposium on Agriculture, Opatija, 475-479.
22. Kontek M. (2016). Pirolitička svojstva važnijih poljoprivrednih energetskih kultura. Diplomski rad, Agronomski fakultet, Zagreb.
23. Kosanić T. (2015). Uticaj procesnih parametara na pirolizu drvene biomase. Doktorska disertacija, Novi Sad.
24. Kowarik I., Säumel I., (2007). Biological flora of Central Europe: *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 8, 207–237.
25. Krička T., Jurišić V., Matin A., Bilandžija N., Antonović A. (2016). Mogućnosti pretvorbe i iskorištenja ostataka poljoprivredne biomase nakon procesa pirolize. 51. hrvatski i 11. međunarodni simpozij agronoma, Opatija, Hrvatska, 485-488.
26. Krička T., Voća N., Jurišić V., Matin A., Bilandžija N., Antonović A., Slipčević D. (2017.). Pretvorba poljoprivrednih ostataka i energetskih kultura u energiju i proizvode dodane vrijednosti – bioulje i biougljen. 52. Hrvatski i 12. Međunarodni Simpozij Agronoma, Dubrovnik, Hrvatska, 659-662.
27. Larid D.A., Brown R.C., Amonette J.E., Lehman J. (2009). Review of the pyrolysis platform for coproducing bio-oil and biochar. *Biofuels, Bioprod. Bioref.* 3:547–562 (2009).
28. Lendler M. (2018.). Mogućnosti korištenja industrijskih ostataka važnijeg koštuničavog voća procesom pirolize u svrhu dobivanja energije. Diplomski rad, Agronomski fakultet, Zagreb.
29. McKendry P. (2002). Energy production from biomass (part 1). Overview of biomass. *Bioresource Tehnology*, 83, 37-46.
30. Mitić B., Boršić I., Dujmović I., Bogdanović S., Milović M., Cigić P., Rešetnik I., Nikolić T., (2008). Alien flora of Croatia: proposals for standards in terminology, criteria and related database. *Nat. Croat.* 17(2), 73–90.
31. Narodne novine (2018). Zakon o sprječavanju unošenja i širenja stranih te invazivnih stranih vrsta i upravljanju njima (NN 015/2018), Zagreb.

32. Narodne novine (2015). Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (NN 100/2015), Zagreb.
33. Nikolić T. (2015). Rasprostranjenost *Ailanthus altissima* u Hrvatskoj, Flora Croatica baza podataka. Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
34. Nikolić T., Mitić B., Boršić I. (2014.). Flora Hrvatske – invazivne biljke. Alfa, Zagreb.
35. Novak M., Novak N. (2017). Rasprostranjenost invazivne strane vrste pajasena [*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle] po županijama Republike Hrvatske. Glasilo biljne zaštite 3/2017.329.-337.
36. Novak N., Kravaršćan M. (2011). Invazivne strane korovne vrste u Republici Hrvatskoj. Hrvatski centar za poljoprivredu, hranu i selo. Zagreb.
37. Novak N., Kravaršćan M., (2014). Pajasen [*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle] – strana invazivna biljna vrsta u Hrvatskoj. Glasilo biljne zaštite 3/2014.
38. Radna skupina za biomasu, 2005. Biomasa kao obnovljivi izvor energije. Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodnog gospodarstva i Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva, Zagreb.
39. Raguzin I. (2011). Model analize troškova i dobiti uporabe biomase u proizvodnji električne energije. Magistarski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu.
40. Ross C. J. (2008). Biomass Drying and Dewatering for Clean Heat and Power. Northwest CPH Application Center. USA.
41. Sadaka S., Boateng A. A. Pyrolysis and Bio-Oil. University of Arkansas, United States Department of Agriculture, and County Governments Cooperating.
42. Shackley S., Sohi S., Haszeldine S., Manning D., Mašek O. (2009). Biochar, reducing and removing CO₂ while improving soils. A significant and sustainable response to climate change. UKBRC Working Paper 2. UK Biochar Research Centre, School of Geosciences, University of Edinburgh.
43. Sharma S., Meena R., Sharma A., Goyal P. (2014). Biomass Conversion Technologies for Renewable Energy and Fuels. A Review Note. Journal of Mechanical and Civil Engineering. 11(2): 28-35.
44. Sušnik H., Benković Z. (2007). Energetska strategija Republike Hrvatske u kontekstu održivog razvitka šumarstva i poljoprivrede. II. Stručni skup s međunarodnim sudjelovanjem, Osijek.
45. Šilić Đ., Stojković V., Mikulić D. (2012). Goriva i maziva. Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica.
46. Thompson J. S., (2008). Pollination Biology of *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle (Tree-of-Heaven) in the Mid-Atlantic United States.
47. Vassilev S.V., Baxter D., Vassileva C.G., Andersen L.K. (2010). An overview of the chemical composition of biomass. Fuel, 89: 913-933.
48. Vukojević M., Vitasović Kosić I. (2012). Planina Matokit i grad Vrgorac: novo nalazište ugroženih i invazivnih svojti u Hrvatskoj. Journal of Central European Agriculture. 150.-166.

49. Winsley, P. (2007). Biochar and bioenergy production for climate change mitigation. *New Zealand Science Review* 64(1).
50. < <https://www.nps.gov/buff/learn/nature/invasive-plants.htm> > Pristupljeno 30.05.2018.
51. < <http://www.invazivnevrste.hr> > Pristupljeno 12.06.2018.
52. < <https://www.plantea.com.hr/pajasen/> > Pristupljeno 30.05.2018.
53. < <https://www.pfaf.org/user/Plant.aspx?LatinName=Ailanthus+altissima> > Pristupljeno 14.06.2018.
54. < <http://www.greenhome.co.me/index.php?IDSP=712&jezik=lat> > Pristupljeno 30.05.2018.
55. < <https://www.google.com/maps> > Pristupljeno 30.08.2018.

Slike:

1. Produkti pirolize
Izvor: www.mdpi.com/journal/energies
2. Kruženje CO₂
Izvor: <https://erenovable.com/energia-de-biomasa/>
3. Listovi pajasena
Izvor: <https://www.invasive.org/browse/subthumb.cfm?sub=3003>
4. Cvatovi pajasena
Izvor: <https://www.tdg.ch/suisse/arbre-chinois-envahit-forets/story/30259897>
5. Plodovi pajasena
Izvor: http://www.invazivnevrste.hr/?page_id=24
6. Karta rasprostranjenosti vrste *Ailanthus altissima* u Republici Hrvatskoj
Izvor: Flora Croatica Database, 2018.
7. Karta rasprostranjenosti *Ailanthus altissima* širom svijeta
Izvor: Kowarik and Säumel, 20017
8. Uspješna regeneracija biljke iz ostatka posječenog stabalca
Izvor: <https://www.savjetodavna.hr/savjeti/558/714/pajasen-iailanthus-altissima-p-milli/>
9. Geografske koordinate 1. lokacije prikazane na karti
Izvor: <https://maps.google.com/>
10. Geografske koordinate 2. lokacije prikazane na karti
Izvor: <https://maps.google.com/>
11. Geografske koordinate 3. lokacije prikazane na karti
Izvor: <https://maps.google.com/>
12. Geografske koordinate 4. lokacije prikazane na karti
Izvor: <https://maps.google.com/>
13. Geografske koordinate 5. lokacije prikazane na karti
Izvor: <https://maps.google.com/>

7. Životopis

Ana Budimir rođena je 30.06.1991. godine u Splitu. Nakon završetka osnovne škole upisuje srednju Prirodoslovno tehničku školu. Nakon završetka srednje škole, 2010. godine upisuje Kemijsko-tehnološki fakultet u Splitu, ali zbog većeg interesa, 2011. godine upisuje međusveučilišni studij "Meditranska poljoprivreda" u Splitu. Preddiplomski studij završava 2015. godine i te iste godine upisuje diplomski studij Agroekologije, usmjerenje Agroekologija, na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.