Energetske karakteristike trave Miscanthus x giganteus ovisno o gnojidbenom tretmanu i roku žetve

Geršić, Anja

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:204:928212

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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



Repository / Repozitorij:

Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

AGRONOMSKI FAKULTET

Anja Geršić

ENERGETSKE KARAKTERISTIKE TRAVE *MISCANTHUS X GIGANTEUS* OVISNO O GNOJIDBENOM TRETMANU I ROKU ŽETVE

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

AGRONOMSKI FAKULTET

Studij Agroekologija – Usmjerenje Agroekologija

ANJA GERŠIĆ

ENERGETSKE KARAKTERISTIKE TRAVE *MISCANTHUS X GIGANTEUS* OVISNO O GNOJIDBENOM TRETMANU I ROKU ŽETVE

DIPLOMSKI RAD

Mentor: izv. prof. dr. sc. Neven Voća

Zagreb, 2016.

Ovaj diplomski rad je ocijenjen i obranjen dana _____

s ocjenom _____ pred Povjerenstvom u sastavu:

1. Mentor: izv. prof. dr. sc. Neven Voća _____
2. Član povjerenstva: prof. dr. sc. Josip Leto _____
3. Član povjerenstva: doc. dr. sc. Željka Zgorelec _____

Neposredni voditelj: dr.sc. Nikola Bilandžija _____

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentoru, izv. prof. dr. sc. Nevenu Voći, neposrednom voditelju dr. sc. Nikoli Bilandžiji te dr. sc. Vanji Jurišić na vodstvu, susretljivosti te nesebičnoj i stručnoj pomoći kod izrade ovog diplomskog rada. Hvala kolegici Mateji Grubor na pomoći i dobrom društvu tijekom rada u laboratoriju.

Posebno sam zahvalna svojim roditeljima i bratu Filipu koji su uvijek uz mene i koji su mi najveća podrška. Bez njih ne bi bila tu gdje jesam. Do neba i natrag hvala i dečku Dini na neizmjernom strpljenju, potpori i pomoći u svakom trenutku.

Zahvaljujem se svim divnim ljudima koji me okružuju. Ivani V., Petri i Kristini hvala na svim lijepim riječima od srednje škole pa do danas. Veliko hvala Maji, Ivani P. i ostatku ekipe na širenju pozitivne energije. Hvala Tanji što je uvijek vjerovala u mene. Puno hvala i ekipici s faksa; Ana Marija, Katarina, Jelena, Tomislava, Martina.

Hvala svima koji su se u ovih šest godina našli kraj mene i koji su na bilo koji način ostavili trag u mom studenskom životu, ali isto tako i pridonijeli tome da i to privedem kraju.

Bilo bi puno teže bez svih vas.

SAŽETAK

Danas se svjetska industrija sve više okreće obnovljivim izvorima energije, a jedan od takvih izvora je i biomasa. Biomasa obuhvaća širok spektar sirovina za proizvodnju energije, a jedna od značajnijih kultura za proizvodnju biomase je *Miscanthus x giganteus*. On je zbog svog jednostavnog uzgoja, velikog godišnjeg prinosa te malih zahtjeva i visokih energetskih svojstava, idealna energetska kultura. Cilj ovog rada bio je utvrditi energetske karakteristike trave *Miscanthus x giganteus* ovisno o različitim gnojidbenim tretmanima (tri razine gnojidbe krutim stajskim gnojem, dvije mineralnim gnojivima i jedna kontrola) te dva roka žetve (jesenski i proljetni). Nakon provedenih laboratorijskih analiza te statističke obrade dobivenih podataka, utvrdilo se da sadržaj dušika, ugljika, vodika, kisika i sumpora pod utjecajem gnojidbenih tretmana i rokova žetve pokazuju signifikantnost, za razliku od sadržaja fiksiranog dušika i ogrjevnih vrijednosti. Također je utvrđeno da na sadržaj vode značajno utječu različiti rokovi žetve, a na sadržaj pepela, koksa i hlapivih tvari različiti gnojidbeni tretmani i rokovi žetve u međusobnoj interakciji. Podaci dobiveni u ovom istraživanju potvrdili su travu *Miscanthus x giganteus* kao vrlo dobru sirovinu za proizvodnju energije direktnim izgaranjem.

Ključne riječi: biomasa, *Miscanthus x giganteus*, energetske karakteristike, gnojidba, žetva

ABSTRACT

Today is the global industry increasingly turning to renewable energy sources, and one of these sources is biomass. Biomass covers a wide range of raw materials for energy production. One of the most important crops for biomass production is *Miscanthus x giganteus*. It is an ideal energy crop due to its easy cultivation, large annual yield, small requirements and high energy properties. The aim of this study was to determine the energy performance of grass *Miscanthus x giganteus* depending on different fertilizer treatments (three levels of fertilization with solid manure, two with mineral fertilizers and one control treatment) and two different harvest periods (autumn and spring). After the laboratory analysis and statistical analysis of the obtained data, it was established that the content of nitrogen, carbon, hydrogen, oxygen and sulfur, under the influence of fertilization treatments and harvest periods, indicate statistical significance unlike the fixed nitrogen content and calorific value. It was also established that the water content is significantly influenced by different harvest periods. Content of ash, coke and volatile substances are under the influence of different fertilization treatments and harvest periods in interaction. The data obtained in this study confirmed the grass *Miscanthus x giganteus* as a very good raw material for energy production by direct combustion.

Keywords: biomass, *Miscanthus x giganteus*, energy performance, fertilization, harvest

Sadržaj

1. UVOD 1

2. CILJ ISTRAŽIVANJA 2

3. PREGLED LITERATURE 3

3.1. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE I ODRŽIVI RAZVOJ 3

3.2. BIOMASA KAO IZVOR ENERGIJE 5

3.3. ENERGETSKA SVOJSTVA BIOMASE TIJEKOM PROCESA IZGARANJA 7

3.3.1. Gorive tvari 7

3.3.2. Negorive tvari 9

3.3.3. Ogrjevna vrijednost 10

3.4. POLJOPRIVREDNA BIOMASA 11

3.4.1. Energetski usjevi 12

3.5. OPĆENITO O KULTURI *MISCANTHUS x GIGANTEUS* 12

3.5.1. Podrijetlo, taksonomija i morfologija 12

3.5.2. Uvjeti uzgoja i rasta 14

3.5.3. Sadni materijal 16

3.5.4. Bolesti, štetnici i korovi 17

3.5.5. Gnojidba i gnojidbeni zahtjevi 18

3.5.6. Rokovi žetve 19

3.5.7. Korištenje trave *Miscanthus x giganteus* 21

4. MATERIJALI I METODE 24

4.1. MATERIJALI 24

4.2. METODE 25

4.2.1. Sadržaj vode 25

4.2.2. Sadržaj pepela 25

4.2.3. Sadržaj koksa 25

4.2.4. Fiksirani ugljik 26

4.2.5. Hlapive tvari 26
4.2.6. Gorive tvari 27
4.2.7. Ogrjevna vrijednost 27
4.2.8. Ukupni ugljik, vodik, dušik i sumpor 27
5. REZULTATI I RASPRAVA 29
5.1. NEGORIVE TVARI TRAVE *MISCANTHUS X GIGANTEUS* 29
5.1.1. Sadržaj vode 29
5.1.2. Sadržaj pepela 30
5.1.3. Sadržaj koksa 32
5.1.4. Sadržaj fiksiranog ugljika 33
5.1.5. Sadržaj dušika 35
5.2. GORIVE TVARI TRAVE *MISCANTHUS X GIGANTEUS* 37
5.2.1. Sadržaj ugljika 37
5.2.2. Sadržaj vodika 38
5.2.3. Sadržaj kisika 40
5.2.4. Sadržaj sumpora 41
5.2.5. Sadržaj hlapivih tvari 42
5.3. OGRJEVNA VRIJEDNOST 44
5.3.1. Gornja ogrjevna vrijednost 44
5.3.2. Donja ogrjevna vrijednost 45
6. ZAKLJUČAK 47
7. POPIS LITERATURE 48

1. UVOD

U suvremenom svijetu postoji sve veća potreba za energijom koja, povećanjem broja stanovništva i njihovog standarda te napretkom tehnologije, sve više raste. Ljudska populacija i dalje masovno iskorištava prirodne resurse i time ugrožava okoliš što predstavlja veliki problem današnjice. Korištenje neobnovljivih izvora energije, prije svega fosilnih goriva, ne može trajati vječno. Problem ne predstavlja samo pitanje zaliha s kojima raspolažemo, već i štetan utjecaj na okoliš. Globalno gledajući, povećanje potrošnje svih izvora energije, ali i rastuća potreba za hranom, neizbježno dovodi i do povećanja emisije CO_2 u okoliš. Kao jedno od mogućih rješenja za stabilizacijom dijela globalne emisije CO_2 nameće se proizvodnja i korištenje obnovljive "zelene energije"[1] (AZO, 2012).

Zbog ozbiljnih ekoloških posljedica s kojima se u današnjem svijetu suočavamo, ograničenih količina, ali i visokih cijena fosilnih goriva, sve se više ljudi okreće alternativnim rješenjima, odnosno obnovljivim izvorima energije. Jedno od takvog rješenja su i energetske kulture koje imaju mnoge prednosti u odnosu na konvencionalne, ali i neke druge obnovljive izvore energije. Takve se kulture koriste kao energenti u postrojenjima pokretanima na biomasu, kojih je sve više diljem svijeta, te mogu osigurati sirovinu za proizvodnju energije koja se djelomično može koristiti i u prometu (druga generacija biogoriva) (EU Strategy for biofuels, 2006). Jedna od takvih kultura je i *Miscanthus x giganteus.*

Miscanthus x giganteus uspijeva i postiže kvalitetne prinose u području umjerene klime te ima vrijedne prednosti kao što su: jednostavan uzgoj i žetva, višegodišnja je biljka (iz istog korijena raste u prosjeku oko 20 godina), učinkovito iskorištava dušik i vodu, otporna je na bolesti i štetnike, ima dobar prinos suhe tvari te dobru ogrjevnu vrijednost. To su poželjna obilježja za održivu proizvodnju koja također osiguravaju zaštitu okoliša i prirodnih resursa kroz poboljšanje kvalitete tla i smanjeno ispiranje nitrata (Miguez i sur., 2008). Zbog svih navedenih karakteristika, *Miscanthus x giganteus* je energetski, ekološki i ekonomski održiva sirovina za proizvodnju energije iz poljoprivrede. Iz tog razloga, osnovni cilj ovog diplomskog rada je istraživanje energetskih svojstava trave *Miscanthus x giganteus* kao jedne od trenutno najzanimljivijih energetskih kultura za proizvodnju energije iz biomase.

[1] Zelena energija predstavlja najprirodniji mogući način dobivanja energije. U nju ubrajamo sve obnovljive izvore energije, a to su oni izvori koji se ne mogu iscrpiti i daju čistu energiju bez štetnih posljedica po okoliš i naše zdravlje (www.ekologija.com).

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

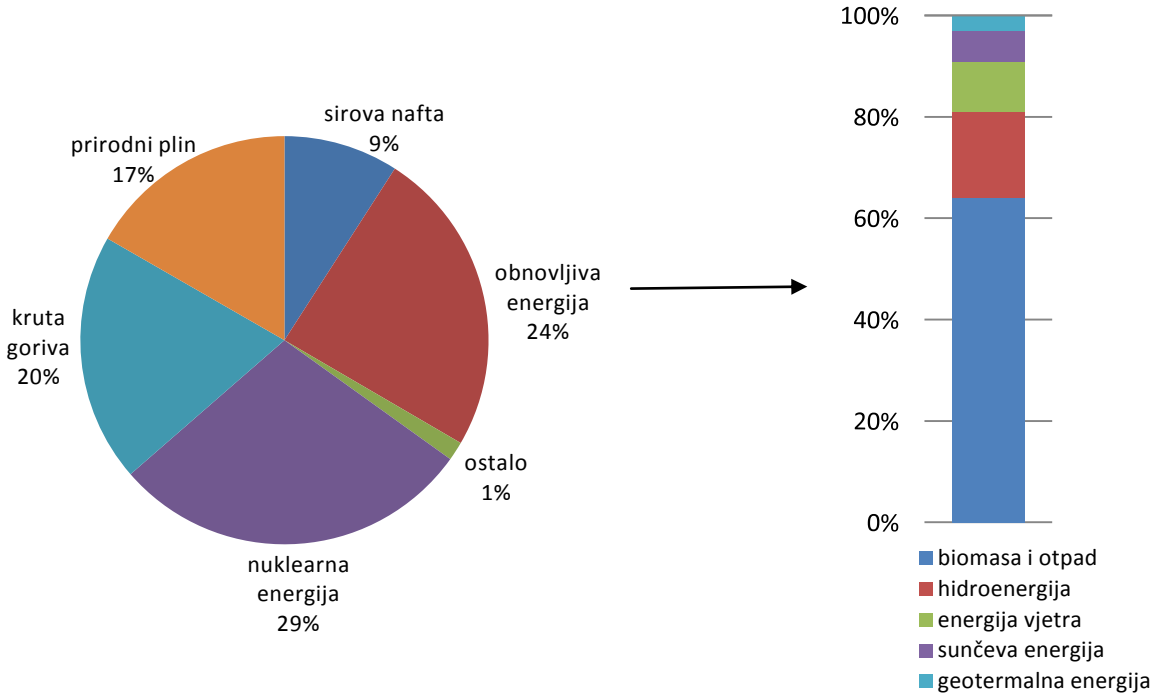
Miscanthus x giganteus je prepoznat kao energetski visokovrijedna kultura za proizvodnju biomase, odnosno njezine konverzije u različite tipove energije, odnosno biogoriva. Ovisno o ekološkim čimbenicima i doradbeno-skladišnim kapacitetima, biomasa istraživane kulture se može požeti od kraja vegetacije (listopad, studeni), odnosno pojave prvih mrazeva pa sve do početka novog vegetacijskog ciklusa (ožujak, travanj). Osim rokova žetve, na energetska svojstva biomase, među ostalim, utječe i cjelokupno provedena agrotehnika tijekom uzgoja, pod kojom podrazumijevamo i gnojidbu. Cilj ovog rada je utvrditi energetske karakteristike (negorive tvari, gorive tvari, ogrjevna vrijednost) trave *Miscanthus x giganteus* u odnosu na različite gnojidbene tretmane (jedna kontrola (0 kg/ha dušika), dvije razine gnojidbe mineralnim gnojivima (50 kg/ha i 100 kg/ha dušika), tri razine gnojidbe krutim stajskim gnojem (10 kg/ha, 20 kg/ha i 30 kg/ha krutog stajskog gnoja)) i različite rokove žetve (jesen, proljeće).

3. PREGLED LITERATURE

3.1. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE I ODRŽIVI RAZVOJ

Energija iz obnovljivih izvora nije novost. Čovječanstvo je dobivalo energiju tisućama godina paljenjem drva i drugih biomasa, za kuhanje, oblikovanje metala i grijanje. Od srednjovjekovnih vremena čovjek je također ukrotio potoke i rijeke za pogone mlinova te vjetar za mljevenje kukuruza. Međutim, u svijetu se najviše upotrebljavaju neobnovljivi izvori energije, a ponajviše fosilna goriva. Iako je izvjesno da će se izvori fosilnih goriva u jednom trenutku potpuno iscrpiti, svijet se bazira na takvoj energiji (Kennedy i sur., 2006).

Sve veća potražnja za energijom, kao i štetan utjecaj fosilnih goriva na okoliš, dovode do zaokreta prema obnovljivim izvorima energije koji predstavljaju održivu i čistu alternativu. Obnovljivi izvori energije predstavljaju energetske resurse koji se koriste za proizvodnju električne i/ili toplinske energije, a čije se rezerve stalno ili ciklički obnavljaju. Dijele se na energiju vjetra, geotermalnu energiju, energiju vode, energiju sunčevog zračenja te energiju biomase (slika 1). Potiču iz tri primarna izvora: raspadanja izotopa u dubini Zemlje, gravitacijskog djelovanja planeta i termonuklearnih pretvorbi na Suncu (Đonlagić, 2005., Šljivac i Šimić, 2009., Baxter i sur., 2013).



Slika 1. Proizvodnja primarne energije u Europskoj uniji 2013. godine

(izvor: Eurostat, 2015)

Povećanje udjela obnovljivih izvora energije povećava energetsku održivost sustava. Zadovoljavaju se energetski zahtjevi današnjih generacija, a da se pri tome ne unište mogućnosti da buduće generacije odgovore na svoje potrebe. Također, pomaže u poboljšavanju sigurnosti dostave energije tako da smanjuje ovisnost o uvozu energetskih sirovina i električne energije. Osim s energetskog aspekta, obnovljivi izvori energije imaju važnu ulogu u smanjivanju emisija stakleničkih plinova (osobito CO_2) u atmosferu, što predstavlja jednu od ključnih smjernica Europske unije (Čakija, 2007).

Tehnologija obnovljivih izvora energije ne proizvodi samo energiju, toplinu i gorivo za transportna sredstva, već nudi i mogućnost života koji vodi ka razumnom budućem razvoju. U Europi i drugim industrijaliziranim područjima, glavni razlog za razvoj obnovljivih izvora energije je okoliš, posebice zabrinutost u vezi s globalnim klimatskim promjenama i potrebom za poboljšanjem sigurnosti i raznolikosti opskrbe energijom. U zemljama u razvoju, obećavaju novu nadu za obnovljive izvore primarne energije u regijama bez konvencionalne energije i pružaju priliku za održivi razvoj (Ošlaj i sur., 2010).

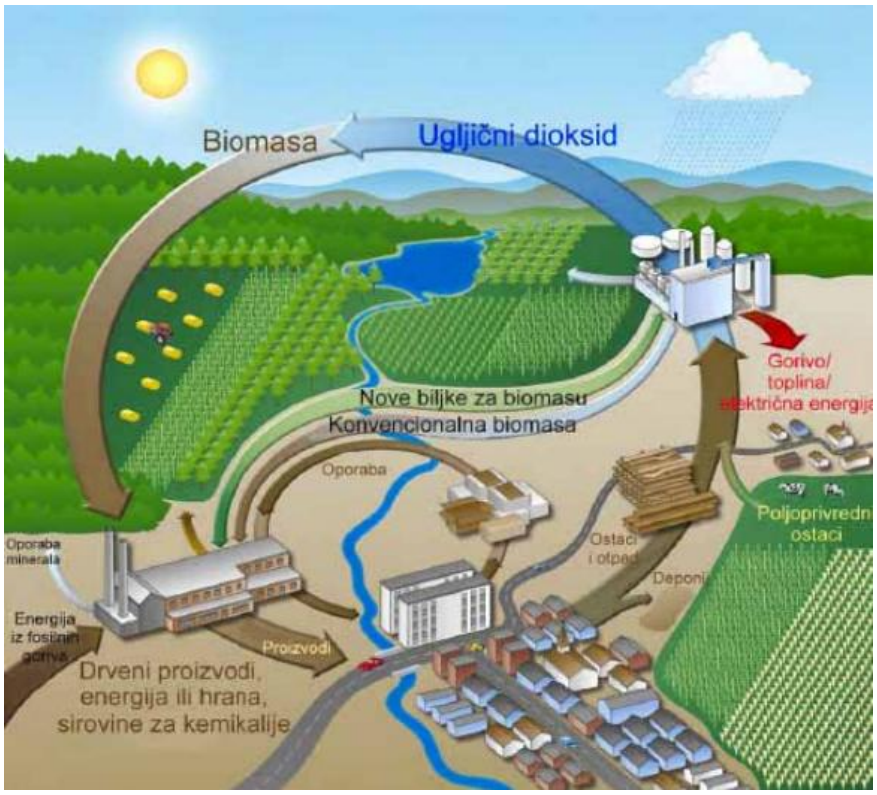
Kako bi ostvarila cilj održivog razvoja, Europska unija razvila je Energetsku strategiju za Europu (2009/28/EC) kojom se obvezala da će do 2020. godine postići smanjenje emisije stakleničkih plinova od barem 20% u odnosu na 1990. godinu, smanjenje ukupne potrošnje energije za 20% te povećanje svih obnovljivih izvora za 20%, s time da se 10% biogoriva mora iskoristiti u transportnom sektoru. Nadalje, Europska komisija je u siječnju 2014. predstavila klimatski i energetski okvir do 2030. koji predstavlja nadogradnju prethodno navedenog. Radi se o komunikaciji u kojoj je utvrđen Okvir za klimatsku i energetsku politiku Europske unije u razdoblju od 2020. do 2030. godine. Svrha okvira je pokretanje rasprava o budućem smjeru tih politika na kraju trenutačnog okvira do 2020. Smanjenje emisija stakleničkih plinova za 40% ispod razine iz 1990., povećanje udjela obnovljivih izvora energije od najmanje 27% uz kontinuirano poboljšanje energetske učinkovitosti, novi sustav upravljanja te niz novih pokazatelja radi osiguravanja konkurentnog i sigurnog energetskog sustava, stupovi su tog novog okvira (http://ec.europa.eu/).

3.2. BIOMASA KAO IZVOR ENERGIJE

Sve do početka intenzivne primjene fosilnih goriva, čija je upotreba uvelike utjecala na razvoj civilizacije, biomasa je bila primarni 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. Već je spomenuto da je biomasa obnovljivi izvor energije, a sukladno Strategiji Europske unije za biogoriva (EU Strategy for biofuels, 2006), definira se kao biorazgradivi dio proizvoda, otpada i ostataka biološkoga podrijetla iz poljoprivrede (uključujući tvari biljnoga i životinjskoga podrijetla), šumarstva i s njima povezanih proizvodnih djelatnosti uključujući ribarstvo i akvakulturu te kao biorazgradivi dio industrijskog i komunalnog otpada (Direktiva 2009/28/EZ).

Biomasa predstavlja najsloženiji način skladištenja Sunčeve energije (slika 2). Energija biomase zapravo je energija Sunčevog zračenja pretvorena u kemijsku energiju koja je sadržana u biljkama. Biljke i ostali organizmi koji fotosintetiziraju, pretvaraju radijacijsku energiju Sunčevog zračenja u energiju kemijskih veza koja je sadržana u visoko kompleksnim molekulama velike energije. Iz tih razloga biomasa predstavlja obnovljiv izvor energije jer je ciklički moguće proizvoditi novu biomasu u određenom vremenu (Lorenzini i sur., 2010).

Nadalje, biomasa se tijekom izgaranja može smatrati CO_2 neutralnom u smislu emisije stakleničkih plinova u atmosferu, posebice ugljikovog dioksida koji sudjeluje u procesu fotosinteze (Garcia i sur., 2012). Izgaranje je kemijska reakcija oksidacije gorivih sastojaka biomase, pri čemu nastaju ugljikov dioksid i vodena para. U odnosu na fosilna goriva, biogoriva/biomasa daje čišće produkte izgaranja, a ciklusom uzgoja u procesu fotosinteze se približno troši onolika količina CO_2 kolika se oslobodi tijekom energetskog iskorištenja, stoga je ciklus proizvodnje energije iz ovakvog biogoriva gotovo CO_2-neutralan (Wichtman i sur., 2011).



Slika 2. Pojednostavljeni ciklus biomase (Šimić, 2010)

Biomasa se najčešće izravno koristi, bez prethodne pretvorbe u druge oblike, te služi kao gorivo u ložištima raznih veličina i izvedbi kao što su kamini, peći i kotlovi. Također se izravno koristi u velikim energetskim postrojenjima za proizvodnju električne ili toplinske energije ili usporedne proizvodnje i toplinske i električne energije u kogeneracijskim postrojenjima (Krhen, 2012).

Od svih obnovljivih izvora energije, najveći se doprinos u bližoj budućnosti očekuje od biomase. Svake godine na zemlji nastaje oko 2000 milijardi tona suhe biomase. Za hranu se od toga koristi oko 1,2%, za papir 1%, i za gorivo 1%. Ostatak, oko 96% ostaje neiskorišten te trune, ali i povećava zalihe obnovljivih izvora energije (www.tehno-dom.hr).

Neke prednosti korištenja biomase kao biogoriva su (Garcia i sur., 2012):

- može se smatrati CO_2 neutralnom,
- biomasa ima niske razine sumpora i dušika u svome sastavu te se na taj način smanjuje emisija štetnih sumpornih i dušičnih oksida,

- biomasa je najčešće lokalnog podrijetla, odnosno pozitivno utječe na energetsku neovisnost i samodostatnost,
- otpad kao biomasa se zbrinjava, iskorištava, pri čemu se zadovoljavaju ekološki i ekonomski uvjeti raznih industrija, te tako biomasa postaje kompetitivnija s fosilnim izvorima energije,
- proizvodnja biomase potiče zapošljavanje i izvor dodatne zarade u šumarstvu, poljoprivredi i drvnoj industriji te tako bitno utječe na socijalno-gospodarsku sliku područja u kojem se proizvodi.

Nedostaci korištenja biomase kao goriva:

- periodičnost nastajanja kod određenih tipova biomase,
- nepovoljni kemijski sastav može uzrokovati probleme tijekom energetskog iskorištenja,
- velike količine nastale biomase često su povezane s problemima transporta, manipulacije i skladištenja proizvedenih količina.

3.3. ENERGETSKA SVOJSTVA BIOMASE TIJEKOM PROCESA IZGARANJA

Energetski sastav i građa stanične stijenke biomase primarni su pokazatelji kvalitativne vrijednosti biomase tijekom energetskog iskorištenja izgaranjem. Prema tome se pod kemijskim sastavom ubrajaju ogrjevne vrijednosti, gorive i negorive tvari, te makro i mikro elementi biomase, dok se pod građom stanične stijenke promatra lignocelulozni sastav (Bilandžija i sur., 2014).

3.3.1. Gorive tvari

Pod gorivim tvarima podrazumijevaju se one tvari koje pri izgaranju razvijaju određenu količinu topline, odnosno tvari koje, dovedene na temperaturu zapaljenja, uz prisustvo kisika iz zraka i uz stvaranje plamena ili žara, prelaze u plinovite spojeve i nesagorive ostatke. Sastoje se od tvari i elemenata navedenih u nastavku.

Suha tvar se definira kao jedan od važnijih parametara tijekom određivanja kvalitete biomase. Udio suhe tvari u biomasi varira u širokim granicama od 20% pa sve do 97%. Viši udio suhe tvari, odnosno niži udio vode, poboljšava kvalitetu biomase tijekom procesa izravnog izgaranja (Jenkins i sur., 1998., Van Loo i Koppejan, 2008.; Vassilev i sur., 2010).

Ugljik, vodik i kisik su glavne elementske komponente biomase i njihove relativne proporcije utječu na ogrjevnu vrijednost. Najvažniji elementi goriva su ugljik i vodik, a većina goriva se sastoji od te dvije tvari uz poželjno što manje sumpora (Baxter i sur., 2013).

Ugljik je osnovni i najvažniji element svih vrsta goriva s maksimalnim udjelom od čak 95%. Sadržaj ugljika u biomasi iznosi oko 50% na suhoj osnovi, u usporedbi s ugljenom gdje ga ima više od 80%. Ugljik je prisutan u djelomično oksidiranim oblicima što objašnjava nižu ogrjevnu vrijednost goriva iz biomase u usporedbi s ugljenom. Energent je kvalitetniji što je više ugljika u gorivu. Šumska biomasa prosječno sadrži 50,1% ugljika, čime predstavlja nešto kvalitetnije gorivo u odnosu na poljoprivrednu biomasu koja prosječno sadrži 47,6% ugljika (Dimitrijević, 1984.; McKendry, 2002.; Vassilev i sur., 2010.; Baxter i sur., 2013).

Vodik se, kao i ugljik, u gorivu nalazi u obliku raznih spojeva te čini osnovni sastav gorive tvari svakog goriva. Povećani udio vodika povećava ogrjevnu vrijednost. Kod čvrstih goriva sadržaj vodika iznosi od 4% do 7% no samo je slobodan vodik važan s aspekta gorivih vrijednosti. Šumska biomasa sadrži prosječno 6,32% vodika, dok je u poljoprivrednoj zastupljen s 5,59% (Dimitrijević, 1984.; McKendry, 2002.; Obernberger i Thek, 2004.; Vassilev i sur., 2010).

Kisik može uzeti učešće u izgaranju zamjenjujući dio kisika iz zraka neophodnog za izgaranje pa je njegova prisutnost u gorivu nepoželjna. Kisik smanjuje sadržaj gorivih elemenata s kojima je u spoju što rezultira smanjenjem ogrjevne vrijednosti. Prosječni sadržaj kisika kod šumske biomase je 43,3%, a kod poljoprivredne 45,4% (Dimitrijević, 1984.; McKendry, 2002.; Obernberger i Thek, 2004.; Van Loo i Koppejan, 2008.; Vassilev i sur., 2010.; Krička i sur., 2012).

Sumpor se u gorivu dijeli na koristan (gorivi) i nekoristan (negorivi) sumpor. Gorivi sumpor, zajedno s ugljikom i kisikom, stvara sumporni dioksid i nešto topline. Važnost prihvatljivog udjela sumpora, osim kroz smanjenje emisije štetnih plinova, očituje se i u

procesima tijekom stvaranja korozije na ložištima na biomasu. U gorivu se sumpor nalazi kao sporedni sastojak u udjelu od 1% do 2,5% (Dimitrijević, 1984.; McKendry, 2002.; Obernberger i Thek, 2004.; Van Loo i Koppejan, 2008.; Vassilev i sur., 2010.; Krička i sur., 2012).

Pojam **hlapljivih tvari** odnosi se na komponente goriva koje se oslobađaju kada se gorivo zagrijava na visokim temperaturama, uključujući i vodenu paru. One su u uskoj vezi s kisikom. Ukoliko se smanjuje sadržaj kisika, smanjuje se i sadržaj hlapljivih tvari u gorivu. Biomasa ima visoki sadržaj hlapljivih tvari, s vrijednostima oko 70%, ali mogu narasti i do 90%, ovisno i sirovini. Zbog toga su kruta biogoriva lako zapaljiva u usporedbi s drugim fosilnim gorivima poput ugljena. Šumska biomasa sadrži prosječno 72,8% hlapljivih tvari, a poljoprivredna 84,4% (Jenkins i sur., 1998.; McKendry, 2002.; Van Loo i Koppejan, 2008.; Vassilev i sur., 2010.; Krička i sur., 2012).

3.3.2. Negorive tvari

Negorive tvari su one tvari koje se u normalnim uvjetima neće zapaliti, ni kad su izložene djelovanju povišene temperature. Naročito su izražene kod krutih goriva, manje kod tekućih te minimalno kod plinovitih. U negorive tvari ubrajamo dušik, pepeo, fiksirani ugljik i koks.

Dušik ne sudjeluje u procesu izgaranja i ne razvija toplinu te stoga smanjuje ogrjevnu vrijednost goriva. Postotni udio dušika u šumskoj biomasi kreće se od 0,1 do 1,9%, a u poljoprivrednoj od 0,2 do 2,2%. Dušik zbog svoje slabe aktivnost negativno utječe na aktivnost drugih elemenata s kojima se nalazi u spoju. Izrazito je važan njegov prihvatljivi udio u biomasi s obzirom da njegovim izgaranjem dolazi do formiranja dušikovih oksida koji imaju negativan utjecaj na okoliš (Jenkins i sur., 1998.; McKendry, 2002.; Van Loo i Koppejan, 2008,; Khan i sur., 2009.; Vassilev i sur., 2010.; Telmo i sur., 2010.; Garcia i sur., 2012).

Pepeo je anorganski ostatak nakon izgaranja biomase te njegova količina određuje kvalitetu biomase kao goriva, a ovisi o kemijskom sastavu biomase. Sadržaj pepela može potjecati od same biomase, primjerice materijali koje je biljka apsorbirala iz vode ili tla

tijekom svog rasta, ili iz opskrbnog lanca, primjerice tlo prikupljeno zajedno s biomasom. Možemo reći da je pepeo negorivi dio koji nakon izgaranja biomase zaostaje u obliku ostatka, a zajedno s vodom snižava ogrjevnu vrijednost biomase. Kvaliteta samog goriva određuje se količinom pepela, što je manje pepela to je gorivo kvalitetnije. Stoga su manji sadržaj vode i pepela vrlo poželjna svojstva za izbor kulture koja će se koristiti u proizvodnji energije izgaranjem. Goriva s nižim udjelom pepela su bolja za termičko iskorištenje, jer manje količine pepela olakšavaju njegovo uklanjanje, transport i skladištenje, kao i iskorištenje i odlaganje. Utvrđena je i negativna korelacija između pepela i ogrjevnih vrijednosti. Svakim povećanjem udjela pepela od 1% dolazi do smanjenja ogrjevnih vrijednosti za 0,2 MJ/kg. Sadržaj pepela poljoprivredne biomase (1,4-7,1%) veći je od sadržaja pepela u šumskoj biomasi (0,2-2,8%) (McKendry, 2002.; Obenberger i Thek, 2004.; Van Loo i Koppejan, 2008,; Khan i sur., 2009.; Telmo i sur., 2010.; Krička, 2010).

Fiksirani ugljik je kruti ostatak koji ostane nakon zagrijavanja uzorka i isparavanja hlapivih komponenti. On predstavlja količinu fotosintezom vezanog ugljika u biomasi. Povećanjem fiksiranog ugljika povećava se ogrjevna vrijednost energenta. U šumskoj biomasi ga ima od 12,4% do 22,5%, a u poljoprivrednoj od 11,33% do 22,14% (McKendry, 2002.; Obenberger i Thek, 2004.; Telmo i sur., 2010.; Krička, 2010).

Koks se dobiva suhom destilacijom uz potpuni ili djelomični nedostatak zraka. Što ga ima više, gorivo je kvalitetnije. Koks šumske i poljoprivredne biomase kreće se u rasponu od 11,4% do 24,19% (Krička, 2010).

3.3.3. Ogrjevna vrijednost

Ogrjevna vrijednost goriva izražava količinu energije koja se otpušta tijekom potpunog izgaranja jedinica mase goriva. Izražava se u J (*Joule*) na jedinicu mase (J kg^{-1}, MJ kg^{-1}), a pod utjecajem je vlažnosti, kemijskog sastava i gustoće energenata. Ogrjevne vrijednosti su osnovni parametri za proračun energije i potencijala biomase, kao i temeljni parametar za klasifikaciju kvalitete samog energenta. Razlikujemo gornju i donju ogrjevnu vrijednost. **Gornja ogrjevna vrijednost** (H_g) je toplina oslobođena pri izgaranju goriva, nakon čega se dodatno iskorištava toplina kondenzacije vodene pare iz dimnih plinova, odnosno to je najveća moguća energija koja se može dobiti izgaranjem nekog goriva. **Donja**

ogrjevna vrijednost (H_d) je toplina koja je oslobođena procesom izgaranja goriva, bez dodatnog iskorištavanja topline kondenzacijske vodene pare. Prema tome, donja je ogrjevna vrijednost uvijek manja od gornje. Kod biomase razlika između tih vrijednosti je u prosjeku oko 7% (Jenkins i sur, 1998.; Holtz, 2006).

3.4. POLJOPRIVREDNA BIOMASA

Biomasa je sirovina pogodna za cijeli niz industrijskih procesa na biološkoj bazi - kao što je neposredna proizvodnja električne i toplinske energije ili pak fermentacija do bioetanola. Danas se biogoriva prve generacije, poput etanola iz kukuruznog zrna, pšenice ili šećerne repe, ili pak biodizelskoga goriva iz uljarica, još uvijek uglavnom proizvode iz usjeva namijenjenih za prehrambeni lanac i koji zahtijevaju poljoprivredno zemljište visoke kvalitete za uzgoj. S obzirom na to, došlo je do razvoja biogoriva druge generacije, koji se proizvode iz šumske i poljoprivredne biomase, organskog otpada, ali i energetskih nasada, što podrazumijeva uzgoj biljaka posebno za energetsko korištenje (Hanaček, 2012).

Poljoprivredna lignocelulozna biomasa ima znatan energetski potencijal jer predstavlja ostatke primarne poljoprivredne proizvodnje, odnosno nusproizvode nakon dorade/prerade poljoprivrednih sirovina u prehrambenoj industriji (Krička i sur., 2014). Lignoceluloza je vlaknasti materijal koji čini osnovu strukture stanične stijenke biljke. Sastoji se od celuloze (40--50%), hemiceluloze (25-35%) i lignina (15-20%) (Gray i sur., 2006). *Miscanthus x giganteus* je najčešće uzgajani genotip za proizvodnju lignocelulozne biomase, jer u usporedbi s drugim usjevima sadrži značajno manje vode i pepela (Hodgson i sur., 2010).

Poljoprivredna biomasa za proizvodnju biogoriva može se podijeliti na biomasu (Bilandžija, 2015):

- ratarske proizvodnje (sijeno, slama, stabljike, kukuruzovina, oklasak, ljuske),
- voćarsko vinogradarske proizvodnje (orezani ostaci trajnih nasada),
- iz dorade i prerade poljoprivrednih sirovina u prehrambenoj industriji (komina grožđa, komina masline, komina uljarica, koštice , ljuske jezgričavog voća),
- iz povrćarstva i ukrasne hortikulture (otpad iz vrtova i parkova),
- stočarske proizvodnje (gnoj, gnojnica, klaonički otpad, otpad u ribarstvu, mesno - koštano brašno),

- kultura za proizvodnju energije na zasebno oformljenim brzorastućim nasadima (miskantus, divovska trska (*Arundo donax*), sirak (*Sorghum bicolor*), blještac (*Phalaris arundinacea*)).

3.4.1. Energetski usjevi

Energetski usjevi predstavljaju značajan potencijal za ispunjavanje budućih energetskih potreba u svijetu. Studije o energetskim usjevima kod proizvodnje biogoriva pokazuju da su oni prilično ekonomičan i ekološki način održive proizvodnje energije. Neke energetske kulture se mogu uzgajati na neplodnim zemljištima i svejedno imati visoki prinos biomase (Koçar i sur., 2013). Energetske kulture mogu biti jednogodišnje ili višegodišnje biljke (Đonlagić, 2005). Za razliku od jednogodišnjih, višegodišnje energetske kulture nemaju veće zahtjeve tijekom uzgoja, a jedna od takvih kultura je i višegodišnja trava *Miscanthus x giganteus* (Bilandžija, 2015).

3.5. OPĆENITO O KULTURI *MISCANTHUS x GIGANTEUS*

3.5.1. Podrijetlo, taksonomija i morfologija

Ime *Miscanthus* potječe od grčke riječi *mischos* (peteljka), a to se odnosi na njegov cvat koji ima peteljkaste klasiće koje nosi u paru te riječi *anthos* koja se odnosi na cvijet. Pripada porodici trava (*Poaceae*). Rod *Miscanthus* obuhvaća oko 14 vrsta koje se pojavljuju unutar visokih travnjaka istočne Azije, od tropa i suptropa do pacifičkih otoka, toplih temperaturnih regija i subarktičkog područja. Danas se *Miscanthus* može naći i u velikom dijelu Europe gdje je prvobitno unesen kao ukrasna, hortikulturna biljka. Raste u različitim nadmorskim visinama, od razine mora pa sve do visine od najmanje 3000 metara (Greef i Deuter, 1993.; Hodkinson i sur., 1997).

Zbog ukrasnih vrijednosti, za razliku od prirodne hibridizacije, hortikulturna industrija križa *Miscanthus* s ostalim rodovima. Najčešće se križa s rodom *Saccharum*, a neki su križanci sterilni. Među poznatijim *Miscanthus* vrstama su: *Miscanthus giganteus, Miscanthus floridulus, Miscanthus sacchariflorus, Miscanthus sinensis, Miscanthus oligostachyus, Miscanthus tinctorius.* Triploidni hibrid *Miscanthus x giganteus* (slika 3) ima najveći značaj, a

nastao je križanjem vrsta *Miscanthus x sinensis* (diploid) i *Miscanthus x sacchariflorus* (tetraploid) (Lewandowski i sur., 2000). Ova azijska trava pripada C4 višegodišnjim biljkama, koje predstavljaju visokokvalitetnu energetsku kulturu jer efikasno koriste dostupna hraniva, vodu i ugljik u tlu, nisu invazivne te imaju male zahtjeve za prihranom (Babović, 2011). C4 biljke su one u kojih sekundarne reakcije fotosinteze počinju sa spojem koji ima četiri atoma ugljika. Takav metabolizam biljkama omogućava život na sušnijim staništima što je posebno važno za smanjivanje fotorespiracije pri višim temperaturama. Temperatura je klimatski čimbenik koji, osim što utječe na rast i razvoj, određuje i duljinu trajanja vegetacije. Biljke koje nemaju C4 put fiksacije ugljika fotorespiracijom gube između 25% i 50% fiksiranog ugljika. C4 put je posebno važan za smanjivanje fotorespiracije pri višim temperaturama (Caslin i sur., 2010).

Miscanthus x giganteus ima debele i jake rizome, a stabljika može doseći visinu od 2,5 do 4 metra. Lisna plojka duga je oko 50 cm te široka oko 3 cm dok je cvat dugačak oko 30 cm no ne proizvodi sjeme, a cvate od rujna do studenog. Stabljika je tanka i uspravna te se obično ne grana, a ispunjena je čvrstom srčikom promjera 10 cm i u Europi može doseći visinu preko 2 metra u prvoj godini te svake sljedeće godine do 4 metra. Niža visina u prvoj godini rezultat je visokog utroška energije na rast njenog ekstenzivnog korijenovog sustava i rizoma. Korijenov sustav prodire preko 1 metar u tlo (El Bassam, 1994). Izgledom je *Miscanthus x giganteus* vrlo sličan bambusu ili rogozu. Zbog veličine, na engleskom je jeziku dobio naziv "elephant grass", što u prijevodu znači "slonova trava".



Slika 3. Trava *Miscanthus x giganteus* (autor: Josip Leto)

3.5.2. Uvjeti uzgoja i rasta

Svakoj biljnoj vrsti potrebna je svjetlost, toplina i vlažno tlo za uspješan rast i razvoj. S obzirom da je *Miscanthus* nastao u regijama svijeta s visokim temperaturnim fluktuacijama između ljeta i zime, razvio je toleranciju na različite ekološke uvjete. Sama prilagodljivost trave različitim okolišnim čimbenicima je izvanredna te čini ovu kulturu pogodnom za osnivanje usjeva u različitim klimatskim područjima. Evolucija ovog roda dovela je do razvoja fiziološko-morfoloških karakteristika koje im omogućavaju povećanu otpornost na vrućinu, mraz , sušu i poplavu (Greef i Deuter, 1993).

Temperatura

Temperatura je klimatski čimbenik koji, osim što utječe na rast i razvoj, regulira i dužinu vegetacijske sezone. Početak vegetacije je određen datumom zadnjeg proljetnog mraza, a kraj datumom prvog jesenskog mraza. Prinos miskantusa u sjevernoj Europi ograničen je niskim temperaturama i manji su od prinosa u južnoj Europi, ukoliko voda nije ograničavajući čimbenik. Sposobnost prezimljavanja biljaka miskantusa ovisi o tolerantnosti njihovih rizoma (El Bassam, 2010).

Neutralizacija miskantusa u umjerenim klimatima upućuje na njegovu relativnu toleranciju prema temperaturi i dostupnosti vode. *Miscanthus x giganteus* je izuzetak među C4 biljkama, a taj izuzetak se očituje u njegovoj održivosti u hladnim klimatskim uvjetima. *Miscanthus x giganteus* ima visoku učinkovitost korištenja svjetlosti u umjerenim klimatskim područjima, što se može pripisati izvanrednoj sposobnosti biljke da zadrži fotosintezu na niskim temperaturama dok većina C4 biljaka nije sposobna obavljati fotosintetske procese kod temperature niže od 12°C (Long, 1999).

Voda

Voda je također važan faktor za produktivnost i ekonomičnu održivost usjeva. U mnogim slučajevima, niska produktivnost tla rezultat je loše dostupnosti vode. Problem nedostatka vode može se ublažiti navodnjavanjem, no dodatna ulaganja mogu smanjiti ekonomsku održivost usjeva. U teoriji, C4 vrste pokazuju veću učinkovitost korištenja vode od C3 vrsta (Long, 1983).

Miscanthus x giganteus je u mogućnosti iskoristiti velike količine vode (9329 m^3/ha) za dobivanje najviših prinosa (31,6 t/ha). Smanjenje količine vode kod navodnjavanja usjeva rezultira smanjenjem prinosa, ali ne proporcionalno. Visina biljke, broj listova i prinos ovisni su o navodnjavanju gdje je niska razina podzemne vode, dok broj stabljika više ovisi o gustoći sadnje nego o navodnjavanju (Beale, 1996.; Lewandowski i sur., 2000).

Tlo

Osim temperature i vode tijekom vegetacijskog razdoblja, tip i kvaliteta tla su također važni čimbenici o kojima ovisi produktivnost biomase trave *Miscanthus x giganteus*. Fizikalna svojstva tla određuju učinkovitost gnojidbe i potrebe za vodom. *Miscanthus* pokazuje zadovoljavajuće prinose i na tlima lošije kvalitete. Međutim, poljoprivredne površine s dužim vremenskim periodom ustajale vode nisu pogodne za uzgoj. Tekstura tla, boja i pH također mogu uzrokovati dinamiku rasta miskantusa. Tamnija tla lakše teksture pomažu u bržem rastu, a podaci iz Danske i UK sugeriraju da je optimalni pH za rast trave *Miscanthus x giganteus* između 5,5 i 7,58 (Knoblauch i sur., 1991).

Temeljem istraživanja koja su proveli Hotz i suradnici (1996), doneseni su i sljedeći zaključci:

- tla pogodna za uzgoj kukuruza prikladna su i i za uzgoj miskantusa,
- najprikladnija tla za uzgoj miskantusa su pješčane ili muljevite ilovače s dobrim kapacitetom zraka, vode i organske tvari,
- maksimalan prinos se ne može postići ako se usjev uzgaja na plitkim tlima u kombinaciji sa dugim, sušnim razdobljem tijekom ljeta, iako su osnivanje i održivost usjeva mogući,
- hladna i teška tla, plavljena tla (npr. glina) nisu pogodna za uzgoj miskantusa, što je dokazano u eksperimentalnim ispitivanjima na glinenom tlu, gdje biljke ne dostignu puni razvoj do pete godine i karakteristične su po niskom rastu (maksimalna visina biljke je oko 1,5 m),
- rast miskantusa na pjeskovitim tlima s niskom vodom je moguć, pri čemu su prinosi niski.

3.5.3. Sadni materijal

Datum sadnje treba biti dovoljno kasno kako bi se izbjegli proljetni mrazevi, ali i dovoljno rano da se omogući dobro ukorjenjivanje i pohrana rezervi za rast i razvoj prije zimskih mrazeva. Sadnja rizomima može biti od ožujka do svibnja, ovisno o klimi, dok je datum sadnje za biljke osnovane u posudama kasniji (krajem travnja-svibnja) kako bi se izbjegli mrazevi (Leto i Bilandžija, 2013).

Za podizanje usjeva miskantusa trenutno se najčešće koriste dvije vrste sadnog materijala i to: reznice rizoma i presadnice dobivene laboratorijskim putem.

Veličina **rizoma** (slika 4), dubina sadnje i skladištenje prije sadnje znatno utječu na razvoj usjeva i njegovo prezimljavanje. Dobro zasnivanje usjeva miskantusa se postiže sadnjom velikih reznica rizoma na dubinu od 10 cm, mada je utvrđeno da dubina sadnje od 20 cm rezultira povećanim zimskim preživljavanjem biljaka u prvoj godini. Uspješno zasnivanje usjeva miskantusa je jedino moguće kad se velike reznice rizoma (otprilike 20 cm dužine) s puno pupova sade na dubinu od najmanje 20 cm (Eppel-Hotz i sur., 1997).



Slika 4. Rizom (autor: Josip Leto)

Drugi način umnožavanja je pomoću malih biljaka dobivenih **mikropropagacijom** iz kulture tkiva (slika 5). Potencijalni prinosi usjeva proizašlih sadnjom biljaka iz mikropropagacije pokazali su zadovoljavajuće rezultate. Međutim, visoki laboratorijski troškovi predstavljaju glavno ograničenje za značajniju komercijalnu produkciju (Bilandžija, 2015).



Slika 5. Presadnice dobivene laboratorijskim putem (autor: Josip Leto)

3.5.4. Bolesti, štetnici i korovi

Miscanthus x giganteus ima značajne prednosti i kod otpornosti na bolesti i štetnike. Do danas nisu zabilježene bolesti i štetnici koji bi značajnije ugrožavali proizvodnju, osobito na području Europe, te stoga nije potrebno konstantno nadziranje bolesti i kukaca (Smeets i sur., 2009). Međutim, poznati su izolirani slučajevi da usjev može biti osjetljiv na plijesni iz roda *Fusarium*, virus žute pjegavosti ječma, te paleži trave *Miscanthus*. Neke bolesti su identificirane i drugdje, no u Europi nisu zabilježene, vjerojatno zbog činjenice da su europski klimatski uvjeti nepovoljni za njihov razvoj. Mnoge štetočine kukuruza, sirka i riže mogu biti opasni i za *Miscanthus* u njegovom prirodnom okruženju. Najštetniji kukci koji napadaju stabljiku i korijen su dvije vrste moljaca pronađenih u Kini, *Mesapamea secalis* i *Heliapus humuli* (Lewandowski i sur., 2000).

Provođenje zaštite protiv korova je važan čimbenik tijekom zasnivanja usjeva u prve dvije godine uzgoja miskantusa. Nakon što je uspostavljena puna gustoća sklopa, smetnje korova u rastu usjeva su potisnute te oni slabo konkuriraju usjevu za hranjiva, vodu i svjetlost. U početku je klijanje korova smanjeno sa slojem otpalog lišća na tlu, a kasnije zatvaranjem sklopa usjeva koji umanjuje probijanje sunčeve svjetlosti u donje etaže usjeva. Prva aplikacija se provodi totalnim herbicidom koju je potrebno provesti desetak dana prije oranja kako bi se suzbili postojeći višegodišnji korovi, a drugoj se aplikaciji pristupa desetak dana nakon sadnje, selektivnim herbicidom (Jones i Walsh, 2001.; Smeets i sur., 2009).

3.5.5. Gnojidba i gnojidbeni zahtjevi

Miscanthus x giganteus, kao i sve C4 višegodišnje biljke, predstavlja visokoenergetsku kulturu jer efikasno koristi dostupna hraniva, vodu i ugljik u tlu te ima male zahtjeve za prihranom (Babović, 2011).

Zbog izražene sposobnosti translokacije minerala i hraniva iz nadzemnih organa u rizome na kraju vegetacije, te re-translokacije iz rizoma u nadzemne organe na početku vegetacije, *Miscanthus* se odlikuje izuzetnom efikasnošću iskorištenja hraniva, osobito dušika, čime značajno utječe na ukupnu ekonomsku bilancu tijekom uzgoja (Clair i sur., 2008.; Davis i sur., 2010).

Sadržaj hraniva u rizomima i korijenu se mijenja vrlo malo tijekom godine (Christian i Haase, 2001). Utvrđeno je također da sadržaj hraniva u nadzemnoj masi pada nakon dosezanja maksimalnog porasta odnosno usvajanja hraniva. Jedan dio tog pada je uzrokovan remobilizacijom (premještanjem) hraniva iz odumirućih listova i stabljika u rizome. Himken i sur. (1997) su proučavali usvajanje hraniva u razvijenom usjevu i utvrdili da količine mobiliziranih i remobiliziranih hraniva mogu biti u rangu: 21-46% za N, 36-50% za P, 14-30% za K i 27% za Mg.

Odrasli rizomi mogu uskladištiti više hraniva nego što je potrebno za rast novih biljaka miskantusa, tako da je nakon godine rasta potrebno dodati samo malu količinu hraniva. Za dobre prinose na lošim tlima trebale bi se dodati minimalne količine fosfornih i kalijevih gnojiva. Dušik se isto tako može dodavati, a istraživanja na prinosu pokazuju da nije zapaženo povećanje prinosa s dodavanjem dušičnih gnojiva. Većina dušika kojeg biljka usvaja tokom rasta dobiva se mineralizacijom organske tvari u tlu, te od atmosferskog pohranjivanja. Istraživanja su pokazala da hranjive tvari pohranjene u rizomima utječu na rast više od vanjskih izvora dušika na početku rasta (Wiesler i sur., 1997).

U pravilu se ne preporučuje primjena gnojiva u prve dvije godine rasta, jer je iznošenje gnojiva u tim godinama vrlo malo i obično ima dovoljno hraniva u tlu. Očekivano je da će primjena gnojiva u ovim ranim fazama razvoja usjeva samo potaknuti razvoj korovskih biljaka, koje će mu kasnije konkurirati u rastu i izazvati dodatne troškove u obliku dodatnih herbicida. Potrebe za hranivima u narednim godinama su prikazane u tablici 1 (Caslin i sur., 2010).

Tablica 1. Potrebe za hranivima

Indeks kvalitete tla	Dušik (N) kg/ha	Fosfor (P_2O_5) kg/ha	Kalij (K_2O) kg/ha
1	100	23	120
2	80	13	75
3	50	0	40
4	30	0	0

Nekoliko studija je provedeno kako bi se utvrdili učinci anorganskih gnojiva na *Miscanthus x giganteus*, međutim nedostatak znanja postoji u pogledu utjecaja dušičnih i kalijevih gnojiva na sastav miskantusa i njegovu kvalitetu u smislu korištenja kao sirovine za tehnologije toplinskih konverzija (Hodgson i sur., 2010).

Nadalje, Hodgson i suradnici (2010) su u svom istraživanju došli do zaključka da primjena dušičnih gnojiva ima negativan učinak na kvalitetu sirovine. Veće koncentracije dušičnog gnojiva rezultirale su većim sadržajem pepela kod izgaranja biomase te slabijom građom stanične stijenke materijala. Dakle, nižom količinom dušičnih gnojiva dobivena je sirovina visoke kvalitete, s malim koncentracijama pepela i visokim sadržajem lignina, idealna za korištenje kod sustava izgaranja. Njihovi rezultati pokazuju da se *Miscanthus* može koristiti za proizvodnju visoko kvalitetne lignocelulozne biomase bez primjene anorganskih gnojiva, što predstavlja veliki ekološki i ekonomski napredak koji se odnosi na korištenje miskantusa kao energenta.

3.5.6. Rokovi žetve

Miscanthus x giganteus žanje se jednom godišnje. Odnos kvalitete i kvantitete požete biomase, u energetske svrhe, ovisi o roku žetve. Prinos i kvaliteta same biomase varira ovisno o klimi područja uzgoja, datumu i načinu žetve, raspoloživoj količini vode, tipu tla, kao i kvaliteti sadnog materijala. Za punu uspostavu usjeva pod vrstom *Miscanthus x giganteus* potrebno je dvije do pet godina, a prinos se povećava svakom narednom godinom do desete godine uzgoja, te se potom postupno smanjuje (Bilandžija, 2015).

Žetvu treba obaviti nakon sazrijevanja usjeva, kada je sadržaj vlage najniži, te prije početka novog porasta u proljeće sljedeće godine. Važno je da je usjev dovoljno zreo, tako da ima dovoljno rezervnih hraniva u rizomima radi preživljavanja zime i početka rasta. Za

kvalitetu biomase je također važna i vlaga kako se biomasa ne bi morala umjetno sušiti. Prije klijanja, koje počinje kad je temperatura tla veća od 10°C u proljeće, potrebno je obaviti zahvate žetve da bi se izbjegle štete kod nicanja. Vrijeme žetve ponajviše ovisi o klimatskim regijama, odnosno je li kultura uzgajana u sjevernoj ili južnoj Europi. Najviše se provodi između studenog i travnja naredne godine (Caslin i sur., 2010).

S obzirom da se žetva može obavljati od studenog (poslije pojave prvih jačih mrazeva) pa sve do početka novog ciklusa vegetacije (ožujak, travanj), u svakom se podneblju utvrđuje optimalan rok žetve obzirom na trenutnu vlagu i energetska svojstva (Lewandovski i sur., 2003.; Zub i sur., 2011). Prema istraživanjima provedenim u Njemačkoj i Nizozemskoj, sadržaj vlage se smanjuje sa 70% u studenom na 20% i više u ožujku ili travnju (Lewandowski i sur., 2000). U tim bi područjima žetvu trebalo provesti u rano područje, od početka veljače do kraja travnja, kako bi postigli najnižu moguću vlagu dobivenog materijala (Kath-Petersen, 1994).

Odgađanjem žetve, osim snižavanja sadržaja vlage, dolazi i do promjena u kemijskom sastavu biomase. Provedenom žetvom u ožujku ili travnju povećava se kvaliteta biomase tijekom sagorijevanja uslijed snižavanja vlage, pepela, klora, dušika i sumpora, no također dolazi i do nepoželjnog snižavanja ogrjevne vrijednosti, ugljika i fiksiranog ugljika (Clifton-Brown i Lewandowski, 2002).

Jedan od nedostataka ostavljanja usjeva u polju do kasno u sezonu je rizik od gubitaka uroda biomase (uglavnom listova), koji nastaju kao rezultat nepovoljnih vremenskih uvjeta tijekom zime. Tijekom zime, većina lišća i neodrvenjeni dijelovi otpadaju s miskantusa, a raspon tih gubitaka proteže se od 3 do 25% u prosincu te od 15 do 25% u ožujku (Clifton-Brown i Lewandowski i sur., 2002.; Bilandžija i sur., 2014).

Žetveni rokovi kod proizvodnje miskantusa su ograničeni na period od prvih mrazeva u jesen, do trenutka ponovnog rasta u proljeće. U trenutku maksimalnog biološkog prinosa usjev je zelen, a postotak vlage visok. Odgađanjem žetve nakon tog trenutka poboljšava se kvaliteta sagorijevanja, ali javljaju se gubici u biomasi, uslijed otpadanja lišća i polijeganja usjeva (Lewandowski i Heinz, 2003), te stoga odlučivanje o datumu žetve predstavlja kompromis između prinosa koji je moguće požeti i njegove kvalitete.

McKervey i sur. (2008) su zaključili da sadržaj nepoželjnih tvari za izgaranje biomase, poput sumpora, pepela i vode, koji je vrlo mali, varira ovisno o vremenu žetve. Tako se

navedene komponente povećavaju ako je žetva provedena ranije, odnosno prije nego što su otpali listovi s kulture. Zbog toga je vrlo važno provesti žetvu u kasno proljeće, zapravo odgoditi je, jer smanjuje količinu pepela, dušika, vode, ali i klora te sumpora (Lewandowski i sur., 2002). Navedeno, ne samo da umanjuje proces učinkovitosti izgaranja, već ima i negativan utjecaj na koroziju kotlova u kojima se izgaranje provodi.

3.5.7. Korištenje trave *Miscanthus x giganteus*

Kao što je već spomenuto, *Miscanthus x giganteus* se nakon uvođenja u Europu prvenstveno koristio kao ukrasna biljka no ubrzo su otkrivene njegove različite energetske i neenergetske mogućnosti korištenja. U novije vrijeme rezultati europskih istraživanja potiču razvoj niza komercijalnih koristi i to prije svega proizvodnje energije.

Biomasa trave *Miscanthus x giganteus* najčešće se koristi kao sirovina pri izravnom sagorijevanju za proizvodnju toplinske i električne energije putem kogeneracijskih sustava, ili u pećima na kruta goriva za proizvodnju toplinske energije, što u konačnici minimizira negativan utjecaj na okoliš prilikom procesa dobivanja energije (Caslin i sur., 2010).

Energetska mogućnost korištenja

Trenutno se *Miscanthus x giganteus* najviše koristi kao ogrjev, odnosno za suspaljivanje s ugljenom i/ili samostalnim izravnim spaljivanjem za proizvodnju toplinske i/ili električne energije. Upotrebom različitih tehnologija zbijanja, proizvedena biomasa se dorađuje u čvrsta biogoriva (briketi i peleti, slika 6) te se nakon procesa briketiranja/peletiranja može učinkovitije iskorištavati za proizvodnju "zelene energije" (Bilandžija, 2012).



Slika 6. *Miscanthus x giganteus* u obliku briketa i peleta (autor: Josip Leto)

Također se može koristiti i u "rinfuznom stanju", odnosno u formi bale ili sječke kako bi se izbjegli dodatni troškovi sabijanja (Bilandžija, 2012). Termoplastična obrada biomase u navedene brikete i pelete je i učinkoviti način za transport, rukovanje i skladištenje. Briketirana i peletirana biomasa može se transportirati na polju i cesti do postrojenja za proizvodnju energije, postojećom opremom bez dodatnih troškova. Termoplastični procesi obrade također čine biomasu dugotrajnijom za uporabu, što je jedna od najvažnijih fizikalnih karakteristika biomase, jer utječe na otpornost peleta i briketa od oštećenja prilikom transporta i skladištenja (Hanaček, 2012).

Energetska vrijednost 20 tona biomase miskantusa jednaka je energetskoj vrijednosti 12 tona kamenog ugljena, dok je 30 tona navedene biomase ekvivalent 12000 litara loživog ulja (Lewandowski i sur., 1997.; El Bassam i sur., 1996).

U posljednje se vrijeme sve više istraživanja provodi na temu korištenja miskantusa za proizvodnju tekućeg biogoriva, odnosno bioetanola druge generacije (zahvaljujući visokom prinosu i visokom sadržaju celuloze). Također se može učinkovito koristiti i u kombinaciji s drugim sirovinama tijekom anaerobne fermentacije u proizvodnji bioplina (Bilandžija, 2012). Predviđa se da bi u budućnosti energetski usjevi, kroz proizvodnju bioetanola, mogli u potpunosti zamijeniti potrošnju fosilnih izvora energije (Bilandžija, 2012). Predviđa se proizvodnja bioetanola od 7000 do 7393 l/ha/godišnje, uz 35 do 75%-tno smanjenje emisije stakleničkih plinova (Lemus i sur., 2009). Međutim, danas je njegovo korištenje u krutom obliku još uvijek ekonomski najprihvatljivije zbog visokih troškova predtretmana u proizvodnji bioetanola druge generacije (Bilandžija, 2012).

Miscanthus daje više biomase od bilo kojeg drugog usjeva s izuzetkom šećerne trske, ali se za razliku od nje može uzgajati na širem prostoru. U usporedbi s kukuruzom, prinosi više biomase i više etanola. Tipičan hektar kukuruza daje 19 tona biomase i 1890 galona etanolskog goriva. S druge strane, *Miscanthus* proizvodi 40 tona biomase i 8125 galona etanola. Po učinkovitosti nadmašuje uljanu repicu, najraširenij biljni energent u Europi. Kod uljane repice odnos između energije koja se uloži u uzgajanje i dobivene energije je 1:2, a kod miskantusa fantastičnih 1:15 (Podnar, 2014).

Neenergetska mogućnost korištenja

Trava *Miscanthus x giganteus* se može koristiti i u neenergetske svrhe. Dakle osim njegove direktne primjene za proizvodnju energije i biogoriva, može se koristiti za dobivanje širokog spektra proizvoda kao što su: papirna pulpa, građevinski materijal, geotekstil, vlaknaste ploče, derivati celuloze (Lewandowski i sur., 2000).

Miscanthus prerađen u obliku malča je proizvod koji se može koristiti u svakom vrtu. Malč od miskantusa je jeftiniji od običnog te izuzetno izdržljiv pa su ga stoga potrebne i manje količine. U vrtu još može poslužiti i kao dekoracija, u usitnjenom obliku, a kao takav idealan je i za gnojidbu. Isto tako, može se koristiti kao zamjena za ukrasnu koru, a kod uzgoja jagoda može se koristiti kao nadomjestak slame. Također se može koristiti pri sadnji cvijeća gdje se uzima u raspadnutom i fermentiranom stanju (Rukavina, 2015).

Miscanthus se može koristiti i kao prostirka za domaće životinje. Ova slama ima veću mogućnost upijanja od normalne i kasnije se može iskoristiti za gnojidbu. Vlakna miskantusa mogu biti korištena kao sirovina za proizvodnju komposta. Utvrđeno je da je na kompostiranom supstratu miskantusa dobro rastao bršljan. Mješavina komposta dobivenog od miskantusa ima malu ukupnu gustoću, visoku zračnu poroznost i visok koeficijent difuzije kisika u usporedbi s tresetom pa se vrše dodatna istraživanja kako bi postao alternativa tresetu (Leth i sur., 2001).

Osim toga, sječka miskantusa može se koristiti i kao izolacijsko sredstvo, odnosno kao dodatak građevinskim materijalima. Vrlo se dobro prilagođava pri pravljenju različitih građevinskih materijala. Može poslužiti kao nadopuna zidu kod montažnih kuća, pri pravljenju glazure, za proizvodnju cigle i kod izgradnje nasipa (Harvey i Hutchens, 1995). Vlakna miskantusa se još mogu iskoristiti za proizvodnju geotekstila, štapova za ukrasne biljke, u autoindustiji, proizvodnji plastike. Nadalje, može se koristiti i za poboljšavanje strukture tla, smanjenje erozije te za proces fitoakumulacije (Bilandžija, 2014). Fitoakumulacija (fitoekstrakcija) je upotreba viših biljaka s ciljem da se pomoću njih uklone zagađujuće tvari, primarno teški metali, iz zemljišta. U ovom procesu koriste se biljke koje su sposobne da usvajaju kontaminante putem korijenovog sustava i translociraju i/ili akumuliraju ih do nadzemnih dijelova (Lasat, 2002).

4. MATERIJALI I METODE

4.1. MATERIJALI

Istraživanje je provedeno na četverogodišnjem nasadu trave *Miscanthus x giganteus* veličine 1490 m^2, na lokaciji Centra za travnjaštvo Agronomskog fakulteta na Medvednici (n.v. 650 m, N 45° 55' 37,2", E 15° 58' 24,4"). Pokusno polje (slika 7) je podijeljeno na 24 parcele na kojima su provedeni različiti tretmani dušičnog i stajskog gnojiva (N0, N50, N100, STG10, STG20 i STG30).

STG_{10}	**STG_{30}**	**STG_{20}**	**N_{50}**	**STG_{10}**	**N_{100}**	**N_{100}**	**STG_{20}**	**N_0**	**STG_{10}**	**N_{50}**	**STG_{30}**
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N_{50}	**N_0**	**N_{100}**	**STG_{20}**	**N_0**	**STG_{30}**	**N_{50}**	**STG_{10}**	**STG_{30}**	**N_{100}**	**STG_{20}**	**N_0**
12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

2,92 1 2,92 1 2,92 2 2,92 1 2,92 1 2,92 2 2,92 1 2,92 1 2,92 2 2,92 1 2,92 1 2,92

49,04 m

Slika 7. Shema pokusa *Miscanthus x giganteus* 2014.[2]

Miscanthus x giganteus je posađen početkom svibnja 2011., sadnjom reznica rizoma na razmak sadnje 1x1 m. U četvrtoj godini starosti nasada (proljeće 2014.) pokus je postavljen po shemi slučajnog bloknog rasporeda u tri ponavljanja. Jedan blok su činile tri razine gnojidbe krutim govođim stajskim gnojem (10, 20 i 30 t/ha/god), dvije razine gnojidbe mineralnim gnojivima (50 i 100 kg N/ha/god) i kontrola (N0). Žetva trave *Miscanthus x giganteus* je provedena u dva roka žetve i to u jesen 2014. i proljeće 2015. godine.

[2] Osnovna parcelica = 2,92*14=40,88 m^2
Ukupno = 49,04*30,4=1490,8 m^2
-razmak između parcelica iznosio je 1 m, a između repeticija 2m

4.2. METODE

Analize su provedene na Agronomskom fakultetu u Zagrebu, u laboratoriju Zavoda za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport i Zavodu za opću proizvodnju bilja. Nakon jesenskog i proljetnog uzorkovanja biomase sa svake parcele, u svim uzorcima utvrđen je sadržaj vlage (CEN/TS 14774-2:2009), hlapivih tvari (CEN/TS 15148:2009), fiksiranog ugljika i pepela (CEN/TS 15148:2009), ugljika, vodika, dušika i sumpora (HRN EN 15104:2011; HRN EN 15289:2011, HRN EN 14918:2010), kao i gornja ogrjevna vrijednost (HRN EN 14918:2010). Podaci su analizirani GLM procedurom u SAS sistemskom paketu, verzija 8.00 (SAS Institute, 2002-2004).

4.2.1. Sadržaj vode

Nakon vaganja požete biomase, uzorkovani su poduzorci sasjeckane mase koji su izvagani te stavljeni na sušenje 48 sati na 60°C. Nakon sušenja uzorci su ponovno izvagani te je izračunat udio vode u biomasi.

4.2.2. Sadržaj pepela

Pepeo je anorganski ostatak goriva koji ostaje nakon potpunog izgaranja goriva. Kako se potpunim izgaranjem uklone gorive tvari iz goriva, ostane samo fiksirani kisik i mineralna komponenta iz čije se mase može izračunati zastupljenost minerala u određenom gorivu. Za određivanje pepela 1,5 grama uzorka se odvagne u porculanski lončić koji se potom stavi u mufolnu peć (Nabertherm Controller B170, Njemačka) na temperaturu od 550+-10°C tijekom pet sati ili do konstantne mase, sukladno standardnoj metodi CEN/TS 15148:2009.

4.2.3. Sadržaj koksa

Sadržaj koksa se određuje pri temperaturi od 900±10°C u mufolnoj peći (slika 8) u trajanju od 5 minuta sukladno standardnoj metodi za određivanje koksa (CEN/TS 15148:2009).



Slika 8. Mufolna peć, stavljanje uzoraka

4.2.4. Fiksirani ugljik

Pojam fiksirani ugljik se odnosi na čvrstu frakciju koja ostaje nakon isparavanja hlapivih komponenti. Uglavnom se sastoji od ugljika i određene količine vodika, kisika, sumpora i dušika. Može se odrediti i računski (CEN/TS 15148:2009).

4.2.5. Hlapive tvari

Pojam hlapivih tvari odnosi se na komponente goriva koje se oslobađaju kada se gorivo zagrijava pri visokim temperaturama, ne isključujući vodenu paru. Hlapiva tvar sadrži zapaljive (C_xH_y plinovi, CO i H_2) i nezapaljive plinove (CO_2, SO_2 i NOx). 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 izračunava se računski (CEN/TS 15148:2009).

4.2.6. Gorive tvari

Sadržaj gorive tvari izračunava se računski (CEN/TS 15148:2009).

4.2.7. Ogrjevna vrijednost

Kod ogrjevne vrijednosti utvrđuje se gornja i donja ogrjevna vrijednost. Kalorimetrija je eksperimentalni postupak za određivanje gornje ogrjevne vrijednost (engl. *higher heating value*, HHV). Gornja ogrjevna vrijednost određena je korištenjem standardne ISO (HRN EN 14918:2010) metode u adijabatskom kalorimetru (IKA C200 Analysentechnik GmbH, Njemačka) (slika 9). U kvarcnu posudicu se odvaže 0,5g uzorka koji se potom u kontroliranim uvjetima u kalorimetru spaljuje. Gornja ogrjevna vrijednost dobivena je korištenjem IKA C200 programskog paketa. Donja ogrjevna vrijednost se dobiva računski.



Slika 9. Adijabatski kalorimetar

4.2.8. Ukupni ugljik, vodik, dušik i sumpor

Određivanje ukupnog dušika, ugljika, sumpora i vodika, provedeno je simultano, metodom suhog spaljivanja na Vario, Macro CHNS analizatoru (Elementar Analysensysteme

GmbH, Njemačka) (slika 10) prema protokolima za ugljik, vodik i dušik (HRN EN 15104:2011) te sumpor (HRN EN 15289:2011). Postupak se bazira na spaljivanju uzorka u struji kisika na 1150°C uz prisutnost volfram (VI) oksida kao katalizatora. Prilikom sagorijevanja oslobađaju se plinovi NO_x, CO_2, SO_3 i H_2O. U redukcijskoj koloni, koja je zagrijana na 850°C, uz pomoć bakra kao redukcijskog sredstva, NO_x plinovi se reduciraju do N_2, a SO_3 plinovi do SO_2. Nastale N_2 plinove helij (plin nosioc) nosi direktno na detektor TCD (termo-vodljivi detektor). Dok ostali plinovi CO_2, H_2O, SO_2 prije dolaska na detektor prolaze kroz adsorpcijske kolone za CO_2, H_2O i SO_2. Sadržaj kisika izračunava se računski.



Slika 10. CHNS analizator

5. REZULTATI I RASPRAVA

5.1. NEGORIVE TVARI TRAVE *MISCANTHUS X GIGANTEUS*

Laboratorijskim analizama utvrđene su važnije energetske karakteristike biomase tijekom energetske iskoristivosti izgaranjem kulture *Miscanthus x giganteus* i to: negorive tvari (voda, pepeo, koks fiksirani ugljik, dušik), gorive tvari (ugljik, vodik, kisik, sumpor, hlapive tvari) te ogrjevna vrijednost (gornja i donja).

5.1.1. Sadržaj vode

Sadržaj vode jedan je od najvažnijih parametara kada se govori o gorivim svojstvima. O njemu ovisi kojom metodom će se sirovina prevesti do energije, odnosno goriva, te koliko će se energije pri gorenju potrošiti na isparavanje vode iz biomase. Dakle, o sadržaju vode ovisi razlika između ogrjevnih vrijednosti (Ross, 2008).

U tablici 2. prikazan je sadržaj vode u ovisnosti o rokovima žetve i gnojidbenim tretmanima kao i kombinirana analiza varijance sadržaja vode.

Tablica 2. Sadržaj vode (%)

ROK ŽETVE (***)	
Jesen	53,282 a ± 9,012
Proljeće	19,125 b ± 10,141
GNOJIDBA (ns)	
N0	36,091 a ± 9,021
N50	37,123 a ± 8,100
N100	36,093 a ± 9,013
STG10	38,005 a ± 8,016
STG20	36,123 a ± 9,168
STG30	37,099 a ± 9,029
ŽETVA x GNOJIDBA	**ns**

Vrijednosti označene istim slovom statistički se značajno ne razlikuju uz $p<0,05$
Signifikantnost: *** $p<0,001$, ** $p<0,01$, * $p<0,05$ i nesignifikantno (ns)

U tablici 2. vidljivo je da je sadržaj vode u jesenskom roku žetve iznosio 53,282%, a u proljetnom 19,125% te da postoji velika razlika između rokova žetve. Očekivano, može se utvrditi da rokovi žetve značajno utječu na sadržaj vode u istraživanoj biomasi. Odgađanjem roka žetve postiže se snižavanje sadržaja vode što je poželjno svojstvo tijekom procesa izgaranja. Kod gnojidbenih tretmana sadržaj vode varira od 36,091 do 38,005%. S obzirom na mali raspon sadržaja vode kod različitih gnojidbenih tretmana, zaključujemo da gnojidbeni tretmani nemaju utjecaja na sadržaj vode kod istraživane biomase.

Usporedno s literaturnim podacima Vassilev i sur. (2010), koji navode sadržaj vode u biomasi trave *Miscanthus x giganteus* od 11,4%, McKendry (2002) u vrijednosti od 11,5%, Collura i sur. (2006) od 9,6% te Garcia i sur. (2012) od 7,53%, utvrđeni sadržaj vode u ovom istraživanju je puno veći kod jesenskog roka žetve, dok je sadržaj vode u proljetnom roku znatno prihvatljiviji. Također, važno je istaknuti da, osim rokova žetve, značajan utjecaj na udio vlage u istraživanoj biomasi imaju i klimatsko meteorološke prilike tijekom perioda mirovanja vegetacije.

Prema dobivenim podacima možemo zaključiti da *Miscanthus* ima nešto veći sadržaj vode od drugih važnih sirovina korištenih za biomasu.. Primjerice, McKendry (2002) navodi sadržaj vode kod biomase drva u vrijednosti od 20%, a kod stabljike ječma 30% te pšenice 16%. Eriksson i sur. (2012) su dobili vrijednosti od 12% kod pšenice, a za istu kulturu Vassilev i sur. (2010) navode sadržaj vode od 10,1%. Hodgson i sur. (2010) utvrdili su da visoki sadržaj vode u biomasi uzrokuje smanjenje njezine ogrjevne vrijednosti i ukupni pad učinkovitosti izgaranja.

5.1.2. Sadržaj pepela

Sadržaj pepela parametar je koji također uvelike utječe na iskoristivost biomase. On ima katalitički utjecaj na termičku razgradnju, odnosno više koncentracije pepela rezultiraju većim koncentracijama ugljena i plinova (McKendry, 2002). Goriva s nižim udjelom pepela bolja su za termičko iskorištenje jer manje količine pepela olakšavaju njegovo uklanjanje, transport i skladištenje, kao i iskorištenje i odlaganje (Krička, 2014). Dakle, biomasa je kvalitetnija kada je prisutan što manji sadržaj pepela, odnosno što manje pepela ostane nakon sagorijevanja biomase, ista je povoljnija za sagorijevanje i obrnuto.

U tablici 3. prikazan je sadržaj pepela u ovisnosti o rokovima žetve i gnojidbenim tretmanima kao i kombinirana analiza varijance sadržaja pepela.

Tablica 3. Sadržaj pepela (%)

ROK ŽETVE (ns)	
Jesen	1,781 a ± 0,243
Proljeće	1,714 a ± 0,249
GNOJIDBA (ns)	
N0	1,599 b ± 0,122
N50	1,760 ab ± 0,262
N100	1,862 a ± 0,039
STG10	1,713 ab ± 0,410
STG20	1,816 ab ± 0,133
STG30	1,736 ab ± 0,295
ŽETVA x GNOJIDBA	***

Vrijednosti označene istim slovom statistički se značajno ne razlikuju uz p<0,05
Signifikantnost: *** p<0,001, ** p<0,01, * p<0,05 i nesignifikantno (ns)

Raspon sadržaja pepela u istraživanoj biomasi kulture *Miscanthus x giganteus* kreće se od 1,599 do 1,862%. Dobiveni podaci niži su u odnosu na podatke u literaturi, što znači da je istraživana biomasa miskantusa povoljnija za izgaranje. Garcia i sur. (2012) navode sadržaj pepela u svom istraživanju od 9,6%, Knörzer i sur. (2013) dobili su vrijednosti između 2,97% i 3,13%. Vassilev i sur. (2010) spominju vrijednosti pepela od 2,7%, McKendry (2002) od 2,8%, a Collura i sur. (2006) od 2,3%. Slepetys i sur. (2012) također navode veće vrijednosti pepela (2,8-4,9%).

Uspoređujući sadržaj pepela kod miskantusa sa sadržajem kod drugih sirovina koje se upotrebljavaju u izgaranju biomase, pokazalo se da su njegove vrijednosti pepela na donjim granicama. Pregledom literaturnih podataka utvrđen sadržaj pepela kod stabljike pšenice iznosi od 4 do 7,1% (McKendry, 2002.; Vassilev i sur., 2010.; Eriksson i sur., 2012), stabljike ječma 6% te biomase drva 1% (McKendry, 2002).

Obzirom da je povoljnija biomasa sa što nižim sadržaj pepela, prema podacima iz tablice 3. vidljivo je da su odgoda žetve te kontrolna gnojidba (0 kg/ha N) dale najbolje rezultate u odnosu na ostale istraživane parametre. Nadalje, sadržaj pepela se ne razlikuje

značajno ovisno o proljetnom ili jesenskom roku žetve te različitim gnojidbenim tretmanima dok međusobna interakcija tih dviju varijabli pokazuje statistički vrlo značajne razlike, a to se najviše vidi u malo većim rasponima u vrijednosti pepela kod različitih tretmana gnojidbe (tablica 3).

Abreu-Naranjo (2012) navodi da sadržaj pepela ovisi o vremenu žetve, gnojidbi tla, kvaliteti hranjiva u tlu, ali i klimatskim uvjetima. U usporedbi s drugim lignocelulozним kulturama, za *Miscanthus x giganteus* se pokazalo da ima znatno manje koncentracije pepela (Hodgson i sur, 2010) te prema tome pokazuje veliki potencijal za njegovo iskorištenje u energetske svrhe.

5.1.3. Sadržaj koksa

Koks je ostatak suhe destilacije, a biomasa je kvalitetnija sa većim sadržajem koksa (Krička, 2010). Koks predstavlja sekundarni ugljen koji nastaje pri višim temperaturama (Mohan i sur., 2006).

U tablici 4. prikazan je sadržaj koksa u ovisnosti o rokovima žetve i gnojidbenim tretmanima kao i kombinirana analiza varijance sadržaja koksa.

Tablica 4. Sadržaj koksa (%)

ROK ŽETVE (ns)	
Jesen	11,446 a ± 1,7888
Proljeće	10,601 a ± 1,8319
GNOJIDBA (ns)	
N0	11,895 a ± 0,981
N50	10,566 a ± 1,607
N100	10,583 a ± 2,029
STG10	10,451 a ± 2,443
STG20	11,714 a ± 1,402
STG30	10,033 a ± 2,215
ŽETVA x GNOJIDBA	*****

Vrijednosti označene istim slovom statistički se značajno ne razlikuju uz p<0,05
Signifikantnost: *** p<0,001, ** p<0,01, * p<0,05 i nesignifikantno (ns)

Sadržaj koksa u istraživanoj biomasi trave *Miscanthus x giganteus* kretao se u rasponu od 10,033 do 11,895% (tablica 4), a s obzirom da su Jurišić i sur. (2014) utvrdili udio koksa od 11,4 do 11,9% možemo zaključiti da su navedeni podaci međusobno usporedivi i u skladu sa literaturnim navodima.

Neki drugi tipovi biomase imaju veći sadržaj koksa. Krička i sur. (2008) su za pelete od voćarskih ostataka dobili vrijednost koksa od 16,03%, od ratarskih ostataka 19,09%, šumskih ostataka 22,11% te za kominu maslina i grožđa 22,23%, a za stabljiku kukuruza čak 30%. Navedene sirovine s aspekta koksa predstavljaju bolju sirovinu za proizvodnju energije od miskantusa.

Vidljivo je iz tablice 4. da nema značajne razlike kod sadržaja koksa ovisno o proljetnom ili jesenskom roku žetve te različitim gnojidbenim tretmanima dok je kod međusobne interakcije tih dviju varijabli došlo do malih razlika ($p<0,05$). Može se reći da je kvalitetnija biomasa dobivena jesenskom žetvom jer je vidljivo da se sadržaj koksa smanjio sa odgodom žetve, tj. žetvom u proljeće. Gnojidba N0 se pokazala najprikladnijom.

5.1.4. Sadržaj fiksiranog ugljika

Povećanjem fiksiranog ugljika (C_{fix}) povećava se ogrjevna vrijednost, čime se poboljšava kvaliteta biomase. On predstavlja količinu vezanog ugljika pomoću fotosinteze u biomasi (McKendry, 2002). Sadržaj fiksiranog ugljika predstavlja kruti ostatak nakon otpuštanja hlapivih tvari pri čemu se ne računa pepeo, a njegova vrijednost dobije se računski iz prethodno provedenih analiza (Garcia i sur., 2012). Fiksirani ugljik predstavlja primarni ugljen nastao na nižim temperaturama (Mohan i sur., 2006).

U tablici 5. prikazan je sadržaj fiksiranog ugljika u ovisnosti o rokovima žetve i gnojidbenim tretmanima kao i kombinirana analiza varijance sadržaja fiksiranog ugljika.

Tablica 5. Sadržaj fiksiranog ugljika (%)

ROK ŽETVE (ns)	
Jesen	9,663 a ± 1,7445
Proljeće	8,961 a ± 1,8792
GNOJIDBA (ns)	
N0	10,420 a ± 1,169
N50	8,804 a ± 1,836
N100	8,822 a ± 1,943
STG10	8,737 a ± 2,079
STG20	9,896 a ± 1,324
STG30	9,195 a ± 2,259
ŽETVA x GNOJIDBA	**ns**

Vrijednosti označene istim slovom statistički se značajno ne razlikuju uz p<0,05
Signifikantnost: *** p<0,001, ** p<0,01, * p<0,05 i nesignifikantno (ns)

U dobivenim podacima iz tablice 5. sadržaj fiksiranog ugljika varira od 8,737 do 10,420%. To su nešto manje vrijednosti od onih koje spominju Vassilev i sur. (2010), a koje iznose 14%, dok Garcia i sur. (2012) navode vrijednost od 11,4%, a McKendry (2002) od 15,9%.

Možemo navesti još neke vrijednosti fiksiranog ugljika kod sirovina koje se koriste u svrhu izgaranja biomase: stabljika pšenice 17,71-21% (Jenkins i sur., 1998.; McKendry i sur., 2002.; Vassilev i sur., 2010), drvna biomasa 17% (McKendry, 2002.), stabljika riže 15,86% (Jenkins i sur., 1998), šipak 25,20% i sirak 21% (Garcia i sur., 2012). Sukladno navedenome može se reći da *Miscanthus x giganteus* ima manji sadržaj fiksiranog ugljika u odnosu na inače korištene sirovine biomase za izgaranje.

Kod fiksiranog ugljika imamo isti slučaj s odgodom žetve kao i kod koksa. S obzirom da je biomasa kvalitetnija s većim sadržajem fiksiranog ugljika, žetvom u jesen dobili smo bolji sadržaj istog. Kontrolna gnojidba N0 pokazala se najboljom za željeni, što veći, sadržaj fiksiranog ugljika. Dobivene vrijednosti fiksiranog ugljika ne razlikuju se značajno ovisno o različitim rokovima žetve i gnojidbenim tretmanima. Može se reći da varijable (rok žetve, gnojidba, žetva x gnojidba) nisu imale značajnog utjecaja na sadržaj fiksiranog ugljika u istraživanoj biomasi miskantusa.

Dobiveni sadržaj fiksiranog ugljika u donjim je granicama prikazanih vrijednosti, pa čak i niži. Biomasa općenito sadrži manje fiksiranog ugljika, pri čemu je prihvatljiva razina do 20% (Garcia i sur., 2012).

5.1.5. Sadržaj dušika

Dušik ne sudjeluje u procesu izgaranja te smanjuje ogrjevnu vrijednost biomase. Prilikom izagaranja biomase dio dušika se spaja s kisikom tvoreći dušične (NO_x) spojeve koji imaju negativan utjecaj na okoliš (Garcia i sur., 2012). Temeljem toga možemo zaključiti da manji sadržaj dušika u biomasi ima i manji utjecaj na okoliš prilikom izgaranja.

U tablici 6. prikazan je sadržaj dušika u ovisnosti o rokovima žetve i gnojidbenim tretmanima kao i kombinirana analiza varijance sadržaja dušika.

Tablica 6. Sadržaj dušika (%)

ROK ŽETVE (***)	
Jesen	0,487 a ± 0,071
Proljeće	0,303 b ± 0,052
GNOJIDBA (***)	
N0	0,349 b ± 0,052
N50	0,384 ab ± 0,029
N100	0,471 a ± 0,125
STG10	0,420 ab ± 0,101
STG20	0,405 ab ± 0,148
STG30	0,341 b ± 0,136
ŽETVA x GNOJIDBA	***

Vrijednosti označene istim slovom statistički se značajno ne razlikuju uz $p<0,05$
Signifikantnost: *** $p<0,001$, ** $p<0,01$, * $p<0,05$ i nesignifikantno (ns)

Iz tablice 6. se može vidjeti da se sadržaj dušika kreće od 0,303 do 0,487% što je identično vrijednostima koje navode Knörzer i sur. (2013). McKendry (2002) navodi sadržaj dušika od 0,5%, Vassilev i sur. (2010) od 0,4%, isto kao i Collura i sur. (2006), dok su Garcia i sur. (2012) dobili manji sadržaj dušika u iznosu od 0,1%. Slepetys i sur. (2012) navode nešto

veće vrijednosti, u razmaku od 0,51% pa do 0,79%, a McKendry (2002) 0,5%. Uspoređujući sve navedene podatke, uočavamo da su dobivene vrijednosti za sadržaj dušika kod miskantusa u granicama literaturnih vrijednosti iste kulture.

Nadalje, McKendry (2002) dobiva slične vrijednosti za pšenicu (0,3%) i ječam (0,4%). Malo su veći sadržaj dušika kod pšenice dobili Eriksson i sur. (2012) te Vassilev i sur. (2010) u razmaku od 0,7 do 0,9%. Drvo ima najmanji sadržaj dušika od 0,1% (Vassilev i sur, 2010).

Iz navedenih podataka vidljivo je da *Miscanthus x giganteus* ima nizak sadržaj dušika kao i ostale sirovine korištene za sagorijevanje biomase. S obzirom na to da dušikovi oksidi predstavljaju primarni zagađivač atmosfere, poželjne su takve što niže vrijednosti dušika.

Apsolutno sve istraživane varijable su pokazale vrlo značajan utjecaj na sadržaj dušika. Dakle, sadržaj dušika je u velikoj ovisnosti o različitim gnojidbenim tretmanima i rokovima žetve. Prema dobivenim vrijednostima (tablica 6) može se reći da je proljetni rok žetve najbolji za sadržaj dušika u biomasi miskantusa, dok je najprihvatljiviji udio dušika pokazala gnojidba 30kg/ha STG.

5.2. GORIVE TVARI TRAVE *MISCANTHUS X GIGANTEUS*

Od gorivih tvari istraženi su sadržaji ugljika (C), vodika (H), kisika (O), sumpora (S) i hlapivih tvari (HT). Sadržaj gorivih tvari predstavlja sadržaj svih tvari koje kada su dovedene do temperature zapaljenja, počnu lančanu oksidacijsku reakciju pri čemu nastaje oslobađanje energije, odnosno gorenje (Glassman, 2008).

5.2.1. Sadržaj ugljika

Ukupni ugljik predstavlja parametar koji ukazuje na kvalitetu goriva. Goriva s većim sadržajem ugljika imaju bolje ogrjevne vrijednosti. S obzirom na to da njegova vrijednost povećava energetsku kvalitetu biomase, veći sadržaj ugljika apsolutno je poželjno svojstvo u biomasi. Ugljik se u biomasi nalazi u složenim spojevima gdje zatim prilikom izgaranja oksidira uz oslobađanje energije (Brown, 2011).

U tablici 7. prikazan je sadržaj ugljika u ovisnosti o rokovima žetve i gnojidbenim tretmanima kao i kombinirana analiza varijance sadržaja ugljika.

Tablica 7. Sadržaj ugljika (%)

ROK ŽETVE (***)	
Jesen	48,596 b ± 0,412
Proljeće	49,496 a ± 0,156
GNOJIDBA (***)	
N0	49,161 a ± 0,479
N50	49,267 a ± 0,415
N100	49,022 ab ± 0,663
STG10	49,134 a ± 0,349
STG20	49,116 a ± 0,143
STG30	48,575 b ± 0,839
ŽETVA x GNOJIDBA	***

Vrijednosti označene istim slovom statistički se značajno ne razlikuju uz p<0,05
Signifikantnost: *** p<0,001, ** p<0,01, * p<0,05 i nesignifikantno (ns)

Iz tablice 7. vidljivo je da sadržaj ugljika varira između 48,575 i 49,496% što je sukladno istraživanju Telmo i sur. (2010) koji navode da je očekivani raspon sadržaja ugljika u biomasi između 47% i 54%, te McKendry (2002) koji je dobio vrijednosti od 48,1%, a isto tako i Vassilev i sur. (2010) sa sadržajem ugljika od 49,2%, te Baxter i sur. (2013) oko 47-49%.

Usporedivši dobivene vrijednosti sadržaja ugljika s nekim drugim literaturnim podacima, dobivene vrijednosti ugljika kod istraživane biomase miskantusa su veće, no razlika nije prevelika. Garcia i sur. (2012) te Collura i sur. (2006) navode postotak ugljika od 47%, Knörzer i sur. (2013) u razmaku od 47,5% do 47,9%, te Sleptys i sur. (2012) od 46,2% do 48,2%. Iz svega navedenog, vidljivo je da je sadržaj ugljika u skladu s dostupnim literaturnim podacima.

Ukupni sadržaj ugljika kod miskantusa usporediv je i sa sadržajem ugljika tradicionalno korištenih sirovina za sagorijevanje i proizvodnju biomase. McKendry (2002) je dobio vrijednosti sadržaja ugljika kod drvne biomase od 51,60% te kod stabljike ječma 45,7%. Vrijednosti ugljika kod stabljike pšenice kreću se od 46,2% do 49,4% (McKendry, 2002.; Vassilev i sur., 2010.; Eriksson i sur., 2012).

Kao što je već navedeno, veći sadržaj ugljika je poželjno svojstvo, a iz tablice možemo vidjeti da je žetvom u proljeće biomasa imala veći sadržaj ugljika. U ovom slučaju gnojidba N50 i N0 daju slične rezultate te su se pokazale najboljima za što prihvatljiviji sadržaj. Na osnovi prikazanog u tablici 7. utvrđeno je da se sadržaj ugljika signifikantno razlikuje ovisno o različitim gnojidbenim tretmanima i rokovima žetve.

5.2.2. Sadržaj vodika

Vodik predstavlja drugi najvažniji gorivi element u gorivu. On povećava ogrjevnu vrijednost goriva te stvara plamen i najzaslužniji je za razvijanje plinova (Voća, 2009). Dakle, veći sadržaj vodika poboljšava kvalitetu samog energenta.

U tablici 8. prikazan je sadržaj vodika u ovisnosti o rokovima žetve i gnojidbenim tretmanima kao i kombinirana analiza varijance sadržaja vodika.

Tablica 8. Sadržaj vodika (%)

ROK ŽETVE (***)	
Jesen	4,004 a ± 0,243
Proljeće	3,965 b ± 0,069
GNOJIDBA (***)	
N0	4,001 a ± 0,022
N50	4,002 a ± 0,010
N100	3,925 b ± 0,113
STG10	4,005 a ± 0,013
STG20	4,004 a ± 0,029
STG30	3,971 ab ± 0,006
ŽETVA x GNOJIDBA	***

Vrijednosti označene istim slovom statistički se značajno ne razlikuju uz p<0,05
Signifikantnost: *** p<0,001, ** p<0,01, * p<0,05 i nesignifikantno (ns)

Vrlo je mali raspon sadržaja vodika u istraživanoj biomasi trave *Miscanthus x giganteus*. Kreće se od 3,925 do 4,004% (tablica 8). Kod Garcia i sur. (2012) sadržaj vodika iznosi 6,3%, kod Vassilev i sur. (2010) 6%. McKendry (2002) navodi vrijednosti od 5,4%, a Collura i sur. (2006) 5,38%. Uspoređujući literaturne podatke s vlastitima može se uočiti da su podaci spomenuti u literaturi nešto veći, a time i bolji.

Vassilev i sur. (2010) su za drvnu biomasu i stabljiku pšenice dobili identične vrijednosti vodika od 6,1%, dok McKendry (2002) za stabljiku ječma navodi vrijednosti od 6,1%, a za drvnu biomasu 6,3% i stabljiku pšenice 5,5%. Brown (2011) dobiva vrijednost za stabljiku kukuruza od 5,35%, a Garcia i sur. (2012) za koru ploda šipka 5,11%.

Iz tablice 8. vidljivo je da je povoljnija žetva u jesen po pitanju dušika jer su dobivene veće vrijednosti istog. Nadalje, nema velike razlike u sadržaju dušika ovisno o različitim gnojidbama. Isto je tako vidljivo da sadržaj vodika vrlo značajno ovisi o različitim rokovima žetve i gnojidbenim tretmanima.

Literaturni podaci pokazuju vrlo slične vrijednosti kod svih istraživanih sirovina dok su rezultati ovog istraživanja pokazali manji sadržaj vodika kod biomase miskantusa. Ovako mali sadržaj vodika u usporedbi sa sadržajem ugljika objašnjava se njegovim manjim utjecajem na ogrjevnu vrijednost u odnosu na ugljik (Garcia i sur., 2011).

5.2.3. Sadržaj kisika

Prisutnost kisika u gorivu je nepoželjna jer on može uzeti učešće u izgaranju zamjenjujući dio kisika iz zraka, neophodnog za izgaranje (Vasillev i sur., 2010). Koncentracija kisika ima snažan utjecaj na ogrjevnu vrijednost koja se linearno smanjuje s povećanjem koncentracije kisika (Hodgson i sur., 2010).

U tablici 9. prikazan je sadržaj kisika u ovisnosti o rokovima žetve i gnojidbenim tretmanima kao i kombinirana analiza varijance sadržaja kisika.

Tablica 9. Sadržaj kisika (%)

ROK ŽETVE (***)	
Jesen	46,828 a ± 0,432
Proljeće	46,159 b ± 0,196
GNOJIDBA (***)	
N0	46,414 b ± 0,444
N50	46,270 b ± 0,388
N100	46,497 b ± 0,429
STG10	46,352 b ± 0,232
STG20	46,394 b ± 0,043
STG30	47,035 a ± 0,696
ŽETVA x GNOJIDBA	***

Vrijednosti označene istim slovom statistički se značajno ne razlikuju uz p<0,05
Signifikantnost: *** p<0,001, ** p<0,01, * p<0,05 i nesignifikantno (ns)

Iz tablice 9. je vidljivo da je sadržaj kisika kod proljetnog roka žetve iznosio 46,159%, a kod jesenskog 46,828% te se kod različitih gnojidbenih tretmana kretao u rasponu od 46,270% do 47,035%. Vassilev i sur. (2010) navode sadržaj kisika manji od navedenih vrijednosti, u iznosu od 44,2%, te McKendry (2002) od 42,2%. Međutim, Collura i sur. (2006) dobili su vrijednosti od 46,8% za sadržaj kisika, pa se može uočiti da je utvrđeni sadržaj kisika na gornjim granicama literaturnih vrijednosti kisika.

Proučavanjem literaturnih podataka uočeno je da *Miscanthus x giganteus* ima veći sadržaj kisika u odnosu na neke druge sirovine koje se koriste u energetske svrhe. McKendry (2006) je u svom istraživanju dobio vrijednosti sadržaja kisika kod stabljike pšenice u iznosu

od 39%, stabljike ječma 38,3%, a kod drvne biomase 41,5%. Eriksson i sur. (2002) za stabljiku pšenice navode sadržaj kisika od 40,7%. Međutim, Vassilev i sur. (2010) su dobili slične vrijednosti za kisik kod većine istraživanih sirovina. Oni za stabljiku pšenice navode sadržaj kisika od 43,6%, a za drvnu biomasu 44,1%.

Možemo zaključiti da su odgodom žetve i gnojidbom N50 dobivene najniže vrijednosti kisika (tablica 9), a znamo da je kisik u gorivu nepoželjan. Nadalje, sadržaj kisika signifikantno se razlikuje ovisno o različitim gnojidbenim tretmanima i rokovima žetve.

5.2.4. Sadržaj sumpora

S obzirom da sadržaj sumpora, kao i dušika, utječe na emisije nepoželjnih plinova (SO_2) pri izgaranju biomasa, poželjno je da njegov sadržaj bude što niži (Garcia i sur., 2012).

U tablici 10. prikazan je sadržaj sumpora u ovisnosti o rokovima žetve i gnojidbenim tretmanima kao i kombinirana analiza varijance sadržaja sumpora.

Tablica 10. Sadržaj sumpora (%)

ROK ŽETVE (***)	
Jesen	0,086 a ± 0,009
Proljeće	0,076 b ± 0,006
GNOJIDBA (***)	
N0	0,076 b ± 0,004
N50	0,077 b ± 0,005
N100	0,084 ab ± 0,004
STG10	0,090 a ± 0,015
STG20	0,081 b ± 0,007
STG30	0,078 b ± 0,009
ŽETVA x GNOJIDBA	***

Vrijednosti označene istim slovom statistički se značajno ne razlikuju uz p<0,05
Signifikantnost: *** p<0,001, ** p<0,01, * p<0,05 i nesignifikantno (ns)

Sadržaj sumpora u istraživanoj biomasi kreće se od 0,076 do 0,086% (tablica 10). Navedene vrijednosti manje su od onih koje su Vassilev i sur. (2010) dobili u svom

istraživanju, a koje iznose 0,15%. Slepetys i sur. (2012) u svom istraživanju spominju vrijednosti u rasponu od 0,03 do 0,04% koje su manje od vrijednosti ovog istraživanja. McKendry (2002) također navodi vrijednosti sumpora manje od 0,1%. Možemo reći da se dobivene vrijednosti sumpora podudaraju sa navedenim literaturnim vrijednostima.

Nadalje, McKendry (2002) je u svom istraživanju za drvnu biomasu, stabljiku pšenice, ječma i riže dobio vrijednosti od 0,1%. Isti sadržaj sumpora kod stabljike pšenice navode Eriksson i sur. (2012) dok su Vassilev i sur. (2010) dobili vrijednosti od 0,7% za pšenicu, a 0,1% za drvnu biomasu. Možemo zaključiti da svi istraživani uzorci imaju vrlo nisku i prema tome prihvatljivu količinu sumpora u svojoj strukturi. Povišeni sadržaj sumpora u biomasi je nepoželjan, pogotovo ako se koristi za izgaranje, jer sumporni spojevi koji nastaju u dimu zagađuju okoliš (Slepetys i sur., 2012).

Iz tablice 10. vidljivo je da sadržaj sumpora značajno ovisi o različitim rokovima žetve i gnojidbenim tretmanima. Također je vidljivo i da je najniži sadržaj sumpora dobiven proljetnom žetvom te se ponovno odgoda žetve pokazala poželjnom. Sadržaj sumpora ne varira puno ovisno o gnojidbenim tretmanima iako je statistička analiza pokazala značajan utjecaj različitih gnojidbenih tretmana na njegov sadržaj.

5.2.5. Sadržaj hlapivih tvari

Pojam hlapivih tvari odnosi se na komponente goriva koje se oslobađaju kada se gorivo zagrijava pri visokim temperaturama, izuzev vode. Kod prevelikog sadržaja hlapivih tvari dolazi do naglog oslobađanja energije pri relativno manjim temperaturama pa takva goriva imaju manju energetsku vrijednost. Hlapive tvari se sastoje od zapaljivih ugljikovodika, ugljikovog monoksida ili vodika, nezapaljivog ugljikovog i sumpornog dioksida te dušikovih oksida (Khan i sur., 2009). Hlapive tvari su u uskoj vezi s kisikom te ako se smanjuje sadržaj kisika, smanjuje se i sadržaj hlapivih tvari u gorivu.

U tablici 11. prikazan je sadržaj hlapivih tvari u ovisnosti o rokovima žetve i gnojidbenim tretmanima kao i kombinirana analiza varijance sadržaja hlapivih tvari.

Tablica 11. Sadržaj hlapivih tvari (%)

ROK ŽETVE (ns)	
Jesen	88,465 a ± 1,7871
Proljeće	89,299 a ± 1,8319
GNOJIDBA (ns)	
N0	88,014 a ± 0,994
N50	89,311 a ± 1,582
N100	89,324 a ± 2,037
STG10	89,470 a ± 2,435
STG20	88,203 a ± 1,398
STG30	88,969 a ± 2,227
ŽETVA x GNOJIDBA	*

Vrijednosti označene istim slovom statistički se značajno ne razlikuju uz p<0,05
Signifikantnost: *** p<0,001, ** p<0,01, * p<0,05 i nesignifikantno (ns)

Sadržaj hlapivih tvari u istraživanoj biomasi miskantusa iznosi 88,014-89,470% (tablica 11). Dobivene su vrijednosti veće od onih u korištenoj literaturi. Collura i sur. (2006) navode sadržaj hlapivih tvari od 80%, Garcia i sur. (2012) od 79%, Vassilev i sur. (2010) od 71,9% te McKendry (2002) od 66,8%. Biomasa općenito ima visok sadržaj hlapivih tvari, koji se kreće od oko 75% pa sve do 90%, ovisno o sirovini (Khan i sur., 2009) te je zbog toga vrlo lako zapaljiva i pri nižim temperaturama za razliku od fosilnih goriva (Garcia i sur., 2012).

Literaturni podaci ukazuju na vrijednosti sadržaja hlapivih tvari u biomasi pšenice od 59 do 75,27% (McKendry, 2002.; Vassilev i sur., 2010.; Jenkins i sur., 2012). Jenkins i sur. (2012) navode vrijednosti za stabljiku riže 65,47%, a McKendry (2002) za stabljiku ječma 46% dok drvna biomasa ima sadržaj hlapivih tvari od čak 84,1% (Vassilev i sur., 2010).

Kod sadržaja hlapivih tvari odgodom žetve dobiven je veći sadržaj te možemo reći da je u ovom slučaju jesenska žetva bolji izbor. Gnojidba N0 se pokazala najboljom s obzirom na najniži sadržaj hlapivih tvari (tablica 11), a već je spomenuto da je niži sadržaj poželjan. Također se može uočiti da nema signifikantnih razlika u sadržaju hlapivih tvari ovisno o različitim gnojidbenim tretmanima i rokovima žetve. Nadalje, kod varijable žetva x gnojidba došlo je do male razlike sadržaja hlapivih tvari, što znači da je žetva u interakciji s gnojidbom imala utjecaja na sadržaj hlapivih tvari u istraživanoj biomasi miskantusa.

5.3. OGRJEVNA VRIJEDNOST

Ogrjevne vrijednosti vjerojatno su najvažniji parametar u ovakvim istraživanjima jer predstavljaju količinu energije koja se može dobiti sagorijevanjem određene količine biomase (Garcia i sur., 2012). Od ogrjevnih vrijednosti istraživane su gornja (H_g) i donja (H_d) ogrjevna vrijednost.

U smislu izgaranja, ogrjevna vrijednost predstavlja važan parametar kvalitete. Varijacije u ogrjevnoj vrijednosti biomase uglavnom proizlaze iz razlike u staničnoj kompoziciji te koncentraciji vlage i pepela (Lewandowski i sur., 2003).

5.3.1. Gornja ogrjevna vrijednost

Gornja ogrjevna vrijednost predstavlja najveću moguću energiju koja se može dobiti izgaranjem nekog goriva, gdje je toplina kondenzacije iskorištena. Ovisi o količini pepela, sastavu stanične stijenke biomase te o količini vode (Hodgson i sur., 2010).

U tablici 12. prikazana je gornja ogrjevna vrijednost u ovisnosti o rokovima žetve i gnojidbenim tretmanima kao i kombinirana analiza varijance gornje ogrjevne vrijednosti.

Tablica 12. Gornja ogrjevna vrijednost (%)

ROK ŽETVE (ns)	
Jesen	18,665 a ± 0,2381
Proljeće	18,583 a ± 0,2383
GNOJIDBA (ns)	
N0	18,592 a ± 0,343
N50	18,690 a ± 0,281
N100	18,682 a ± 0,068
STG10	18,635 a ± 0,258
STG20	18,511 a ± 0,777
STG30	18,634 a ± 0,293
ŽETVA x GNOJIDBA	**ns**

Vrijednosti označene istim slovom statistički se značajno ne razlikuju uz $p<0,05$
Signifikantnost: *** $p<0,001$, ** $p<0,01$, * $p<0,05$ i nesignifikantno (ns)

Vrijednosti gornje ogrjevne vrijednosti s obzirom na rokove žetve i gnojidbene tretmane podjednake su i iznose od 18,511 do 18,690 MJ/kg (tablica 12). Ti su podaci nešto viši u odnosu na istraživanja Garcia i sur. (2012) te Collura i sur. (2006) koji navode da je gornja ogrjevna vrijednost iznosila 17,7 MJ/kg. Međutim, McKendry (2002) dobiva vrijednosti od 18,50 MJ/kg te možemo reći da su vrijednosti dobivene u ovom istraživanju u skladu s literaturnim podacima.

Nadalje, McKendry (2002) je za stabljku pšenice dobio vrijednost od 17,30 MJ/kg, a Eriksson i sur. (2012) 18,5% za pšenicu te od 16-24% za različite tipove drvne biomase. Prema tome zaključujemo da istraživana biomasa trave *Miscanthus x giganteus* ima relativno visoku gornju ogrjevnu vrijednost s obzirom na ostale kulture.

Iz tablice 12. može se vidjeti da na gornju ogrjevnu vrijednost biomase značajan utjecaj nisu imali ni različiti rokovi žetve, ni različiti gnojidbeni tretmani isto kao ni te dvije varijable u interakciji.

5.3.2. Donja ogrjevna vrijednost

Donja ogrjevna vrijednost označava sadržaj energije goriva bez kondenzacijske topline vodene pare sadržane u ispušnim plinovima tijekom izgaranja. Uvijek je manja od gornje ogrjevne vrijednosti, ali predstavlja jedan od temeljnih parametara za klasifikaciju same biomase (Jenkins i sur., 1998.; Holtz, 2006).

U tablici 13. prikazana je donja ogrjevna vrijednost u ovisnosti o rokovima žetve i gnojidbenim tretmanima kao i kombinirana analiza varijance donje ogrjevne vrijednosti.

Tablica 13. Donja ogrjevna vrijednost (%)

ROK ŽETVE (ns)	
Jesen	17,800 a ± 0,235
Proljeće	17,718 a ± 0,244
GNOJIDBA (ns)	
N0	17,720 a ± 0,339
N50	17,819 a ± 0,280
N100	17,820 a ± 0,063
STG10	17,776 a ± 0,272
STG20	17,633 a ± 0,077
STG30	17,785 a ± 0,287
ŽETVA x GNOJIDBA	**ns**

Vrijednosti označene istim slovom statistički se značajno ne razlikuju uz p<0,05
Signifikantnost: *** p<0,001, ** p<0,01, * p<0,05 i nesignifikantno (ns)

Vidimo iz tablice 13. da su prosječne donje ogrjevne vrijednosti također podjednake, a s obzirom na gnojidbene tretmane i rokove žetve kreću se od 17,633 do 17,820 MJ/kg. Dobivene vrijednosti istraživane biomase trave *Miscanthus x giganteus* su malo iznad vrijednosti koje navode Jurišić i sur. (2014), a koje se kreću od 16,14 do 17,20 MJ/kg no i dalje možemo reći da se rezultati podudaraju jer su razlike minimalne.

U svom istraživanju McKendry (2002) je najveće ogrjevne vrijednosti u iznosu od 18,6 MJ/kg dobio za drvnu biomasu, a to su nešto veće vrijednosti od onih koje spominjemo za *Miscanthus*. Za stabljiku pšenice navode se vrijednosti od 17,3 MJ/kg, a za stabljiku ječma 16,1 MJ/kg (McKendry, 2002).

Rezultati ovog istraživanja pokazuju relativno dobre ogrjevne vrijednosti istraživane biomase trave *Miscanthus x giganteus* na koje ni žetva ni gnojidba nemaju značajnog utjecaja.

Hodgson is sur. (2010) tvrde da su uzrok varijacija u ogrjevnoj vrijednosti kod biomase uglavnom varijacije u sastavu stanične stijenke i koncentracije vode i pepela.

6. ZAKLJUČAK

Na temelju provedenih vlastitih istraživanja gorivih i negorivih tvari te ogrjevnih vrijednosti biomase trave *Miscanthus x giganteus*, uslijed različitih gnojidbenih tretmana i rokova žetve, može se zaključiti sljedeće:

1. različiti gnojidbeni tretmani i rokovi žetve nisu pokazali značajniji utjecaj na sadržaj fiksiranog dušika i ogrjevnih vrijednosti,
2. statistička analiza pokazala je da su sadržaj dušika, ugljika, vodika, kisika i sumpora pod značajnim utjecajem različitih gnojidbenih tretmana i rokova žetve,
3. različiti rokovi žetve pokazali su značajan utjecaj na sadržaj vode,
4. međusobna interakcija različitih rokova žetve i gnojidbenih tretmana pokazala je utjecaj na sadržaj pepela, koksa i hlapivih tvari,
5. potvrđeno je kako odgoda žetve i mali zahtjevi za prihranom pozitivno utječu na energetska svojstva istraživane biomase,
6. određena odstupanja kod usporedbe s literaturnim vrijednostima mogu biti rezultat različitih lokacija uzgoja s obzirom na to da klima, tlo i reljef utječu na kemijske karakteristike biljaka,
7. dobiveni podaci potvrdili su potencijal trave *Miscanthus x giganteus* u smislu energetski visokovrijedne i ekološki prihvatljive sirovine za proizvodnju energije.

7. POPIS LITERATURE

1. Abreu-Naranjo R. (2012). Utilizacion energetica de la biomasa ligno-celulosica obtenida del Dichrostachys cinerea mediante procesos de termodescomposicion. Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali. Universita Politecnica delle Marche. Marche, Italy.
2. Azo – Agencija za zaštitu okoliša (2012). Odabrani pokazatelji stanja okoliša u Republici Hrvatskoj.
3. Babović V.N., Dražić G.D., Đorđević M.A. (2011). Mogućnosti korišćenja biomase poreklom od brzorastuće trske *Miscanthus x giganteus*. Pregledni rad. Fakultet za primenjenu ekologiju "Futura", Univerzitet Singidunum, Beograd.
4. Baxter X.C., Darvel L.I., Jones J.M., Barraclough T., Yates N.E., Shield I. (2013). Miscanthus combustion properties and variations with Miscanthus agronomy. Fuel, 117: 851 - 869.
5. Beale C.V. (1996). Analysis of the Radiation-, Nutrient- and Water- Use Efficiencies of the Potential Energy Crops *Miscanthus x giganteus* and *Spartina cynosuroides*, Grown under Field Conditions in S.E. England. Doktorska disertacija, University of Essex, Colchester, UK.
6. Bilandžija N., Leto J., Voća N., Sito S., Krička T. (2012). *Miscanthus x giganteus* kao energetska kultura. Zbornik radova. 40th Engineering „Actual Tasks on Agricultural Engineering“, Opatija, Hrvatska, 21. - 24.02.2012., str. 495-505.
7. Bilandžija N. (2012). Proizvodnja biogoriva iz energetske kulture *Miscanthus x giganteus*. Gospodarski list, 10: 21.
8. Bilandžija N., Leto J., Jurišić V., Matin A. (2012). Uzgoj i korištenje trave *Miscanthus x giganteus* kao prostirke za domaće životinje. Zbornik sažetaka XIX međunarodnog savjetovanja, Krmiva, 51: 139.
9. Bilandžija N. (2014). Perspektiva i potencijal uzgoja kulture *Miscanthus x giganteus* u Republici Hrvatskoj. Inženjerstvo okoliša, 1: 81 – 87.
10. Bilandžija N., Leto J., Kiš D., Jurišić V., Matin A., Kuže I. (2014). The impact of harvest timing on properties of *Miscanthus x giganteus* biomass as a CO_2 neutral energy source. Collegium antropologicum (supplement), 38: 85-91.

11. Bilandžija N. (2015). Potencijal vrste *Miscanthus x giganteus* kao energetske kulture u različitim tehnološkim i agroekološkim uvjetima. Doktorski rad Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska.
12. Brown R.C. (2011). Thermocemichal Processing of Biomass: Conversion Into Fuels, Chemicals and Power. Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University, Ghent, Belgium.
13. Caslin B., Finnan J., McCracken A. (2010). Miscanthus Best Practices Guidelines. Teagasc and the Agri-Food and Bioscience Institute.
14. CEN/TS 14775:2009 (2009). Solid biofuels - Methods for the determination of ash content. European Committee for Standardization.
15. CEN/TS 15148:2009 (2009). Solid biofuels - Method for the determination of the content of volatile matter. European Committee for Standardization.
16. Christian, D. G. i Haase, E. (2001). Agronomy of *Miscanthus*. In: Jones, M. B. i Walsh, M. (ur), Miscanthus for energy and fiber. Eartscan London UK: 21-45.
17. Clair S.S., Hillier J., Smith P. (2008). Estimating the pre-harvest greenhouse gas costs of energy crop production. Biomass and bioenergy, 32: 442 – 452.
18. Clifton-Brown J.C. i Lewandowski I. (2002.): Screening *Miscanthus* genotypes in field trials to optimise bifomass yield and quality in southern Germany. European Journal of Agronomy, 16(2): 97 – 110.
19. Collura S., Azambre B., Finqueneisel G., Zimny T., Weber J.V. (2006). *Miscanthus x giganteus* straw and pellets as sustainable fuels. Environ Chem Lett (2006) 4: 75 -78. Committee for Standardization.
20. Čakija A. (2007). Značaj poljoprivrede u korištenju obnovljivih izvora energije. Zbornik radova: "Obnovljivi izvori energije u Republici Hrvatskoj". Osijek, Hrvatska, 199 - 208.
21. Davis S., Parton W., Dohleman F., Smith C., Grosso S., Kent A., DeLucia E. (2010). Comparative biogeochemical cycles of bioenergy crops reveal nitrogen-fixation and low greenhouse gas emissions in a *Miscanthus* × *giganteus* agro-ecosystem. Ecosystems, 13: 144 – 156.
22. Dimitrijević R. (1984). Goriva i izgaranje. Savez energetičara Hrvatske. Zagreb, Hrvatska.
23. Đonlagić M. (2005). Energija i okolina. Printcom – Tuzla, Bosna i Hercegovina.
24. EC (2006). Commission of the European Communities, Communication from the Commission An EU Strategy for Biofuels. COM (2006)34 final.

25. El Bassam N. (1994). Miscanthus - Stand und Perspektiven in Europa. Forum for Zukunftsenergien e. V. - Energetische Nutzung von Biomasse im Konsenz mit Osteuropa, International Meeting, Jena: 201-212.
26. El Bassam N. (1996). Performance of C4 plant species as energy sources and their possible impact on environment and climate. Proceedings: Biomass for Energy and the Environment. Copenhagen, Denmark, Elsevier Science Ltd., Oxford, 1: 42 - 47.
27. El Bassam N. (2010). Handbook of Bioenergy crops. A complete Reference to Species, Development and Applications. Earthscan, London, Washington, DC. 240-251
28. Eppel-Hotz A., Jodl S., Kuhn W. (1997). Miscanthus: new cultivars and results of research experiments for improving the establishment rate. In: EI-Bassam, N., Behl, R. K. i Prochnow, B. (ur), *Proceedings of the International Conference on Sustainable Agriculture for Food, Energy and Industry*. 23-27 *June* 1997, Braunschweig, Germany: 178-186.
29. Eriksson G., Grimm A., Skoglund N., Boström D., Ohman M. (2012). Combustion and fuel characterisation of wheat distillers dried grain with solubles (DDGS) and possible combustion applications. Fuel, 102: 208-220.
30. García R., Pizarro C., Lavín A.G., Bueno J.L. (2012). Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. Bioresour. Technol., 103: 249-258.
31. Glassman (2008). Combustion. Elsevier Inc. San Diego. USA.
32. Gray K.A., Zhao L., Emptage M. (2006). Bioethanol. Curr. Opin. Chem. Biol. 10: 141-146.
33. Greef J. M. i Deuter M. (1993). Syntaxonomy of *Mtscanthus x giganteus, Angew. Bot.*, 67: 87-90.
34. Hanaček K. (2012). Kvaliteta različito termoplastično obrađene biomase trave *Miscanthus x giganteus* za proizvodnju električne i toplinske energije. Diplomski rad, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska
35. Harvey J., Hutchens M., (1995.) Progress in commercial development of Miscanthus in England, 8th EC Conference, Biomass for Energy, Environment, Agriculture and Industry, Oxford
36. Himken M., Lammel J., Neukirchen D., Czypionka-Krause U., Olfs H.W. (1997). Cultivation of Miscanthus under West European conditions: Seasonal changes in dry matter production, nutrient uptake and remobilization. Plant and Soil, 189: 117 - 126.

37. Hodgson E.M., Fahmi R., Yates N., Barraclough T., Shield I., Allison G., Bridgwater A.V., Donnison I.S. (2010). Miscanthus as a feedstock for fast-pyrolysis: Does agronomic treatment affect quality? Bioresurce Tehnology, 101: 6185 - 6191.
38. Hodkinson T.R., Renvoize S.A., Chase M.W. (1997). Systematics of Miscanthus. Biomass and Bioenergy, 49: 189 - 197.
39. Holtz T. (2006). Holzpellet – Heizungen. Ökobuch. Freiburg, Deutshland.
40. Hotz A., Kuhn W., Jodl S. (1996). Screening of different Miscanthus cultivars in respect of their productivity and usability as a raw material for energy and industry. Proceedings: Biomass for Energy and the Environment. Copenhagen, Denmark, Elsevier Science Ltd., Oxford, 1: 523- 527.
41. HRN EN 14918:2010 (2010). Solid biofuels - Determination of calorific value. European Committee for Standardization.
42. HRN EN 15104:2011 (2011). Solid biofuels - Determination of total content of carbon, hydrogen and nitrogen - Instrumental methods. European Committee for Standardization.
43. HRN EN 15289:2011 (2011). Solid biofuels - Determination of total content of sulphur and chlorine. European Committee for Standardization.
44. ISO 11464:2006 (2006). Soil quality - Pretreatment of samples for physico-chemical analysis
45. ISO 14040:2006 (2006): Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework.
46. Jenkins B.M., Baxter L.L., Miles Jr. T.R., Miles T.R. (1998). Combustion properties of biomass. Fuel Process Technl., 54: 17-46.
47. Jones M.B. i Walsh M. (2001). Miscanthus for energy and fibre. Dunstan House, James and James, London, UK.
48. Jurišić V., Bilandžija N., Krička T., Leto J., Matin A., Kuže I. (2014). Fuel properties' comparison of allochtonous *Miscanthus x giganteus* and autochtonous *Arundo donax L.:* a case study in Croatia. Agriculturae Conspectus Scientificus, 79: 7 - 11.
49. Kath-Petersen W. (1994). Leistungfahige und bodenschonende Erntetechnik für Miscanthus. Doktorska disertacija, Institut für Forschungsbericht Agrartechnik, Kiel, Germany.
50. Kennedy M., Stanić Z. (2006). Uloga obnovljivih izvora energije u proizvodnji električne energije. Energija. 3: 292-327.

51. Khan A. A., de Jong W., Jansens P.J., Spliethoff H. (2009). Biomass Combustion in Fluidized Bed Boilers: Potential Problems and Remedies. Fuel Process. Tehnol., 90: 21-50.
52. Knoblauch F., Tychsen K. i Kjeldsen J. B. (1991). Miscanthus sinensis *'giganteus' (elefantgres).* Landbrug Grøn Viden 85. (English version: *Manual for Growing* Miscanthus sinensis *'Giganteus.* Danish Research Service for Plant and Soil Science, Institute of Landscape Plants, Hornum, Denmark).
53. Knörzer H., Hartung K., Piepho H.P., Lewandowski I. (2013). Assessment of variability in biomass yield and quality: what is an adequate size of sampling area for miscanthus? GCB Bioenergy. 5: 572-579.
54. Koçar, G., Civaş, N. (2013). An overview of biofuels from energy crops: Current status and future prospects. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 28: 900-916.
55. Krhen P. (2012). Energetsko iskorištavanje šumske biomase u Hrvatskoj. Diplomski rad. Rudarsko geološko naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska.
56. Krička T. (2008). Potencijal proizvodnje energije iz biljnih ostataka u poljoprivredi i šumarstvu. Završno izvješće projekta. Agronomski fakultet. Zagreb.
57. Krička T. (2010): Potencijal proizvodnje energije iz biljnih ostataka u poljoprivredi i šumarstvu. Završno izviješće VIP projekta. Ministarstvo poljoprivrede, ribarstva i ruralnog razvitka.
58. Krička T., Bilandžija N., Jurišić V., Voća N., Matin A. (2012). Energy analysis of main residual biomass in Croatia. African Journal of Agricultural Research, 7: 6383 - 6388.
59. Krička T., Kiš D., Jurišić V., Bilandžija N., Matin A., Voća N. (2014.). Ostaci poljoprivredne proizvodnje kao visokovrijedni "zeleni" energent u istočnoj Hrvatskoj. Poljoprivreda i šumarstvo kao proizvođači obnovljivih izvora energije. Hrvatska Akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb.
60. Krička T. (2014). Uvođenje trave *Miscanthus* kao energetske kulture za grijanje plastenika na OPG-u. Završno izvješće. Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Zagreb.
61. Lasat M. (2002). Phytoextraction of Toxic Metals: A Review of Biological Mechanisms. Journal of Environmental Quality, 31: 109-120.
62. Lemus R. i Parrish D.J. (2009). Herbaceous crops with potential for biofuel production in the USA. Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources, 4: 1 – 23.

63. Leto J. i Bilandžija N. (2013). Rodnost energetske trave *Miscanthus x giganteus* u 1. godini na različitim lokacijama. Zbornik radova: 48. hrvatski i 8. Međunarodni simpozij agronoma. Dubrovnik, Hrvatska. 55 – 59.
64. Lewandowski I., Kicherer A. (1997). Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus×giganteus*. Eurpean Journal of Agronomy 6. 3-4: 163–177.
65. Lewandowski I., Clifton-Brownb J.C., Scurlockc J.M.O., Huismand W. (2000). Miscanthus: European experience with a novel energy crop. Biomass and bioenerigy 19:209-227.
66. Lewandowski I., Clifton-Brown J. C, Andersson B., Basch G., Christian D. G., Jergensen U., Jones M. B., Riche A. B., Schwarz K. U., Tayebi K. i Teixeira F. (2003). Environment and harvest time affects the combustion qualities of *Miscanthus* genotypes. *Agronomy Journal,* vol 95: 1274-1280.
67. Lewandowski I. i Heinz A. (2003). Delayed harvest of miscanthus - influences on biomass quantity and quality and environmental impacts of energy production. European Journal of Agronomy, 19: 45 – 63.
68. Lorenzini G., Biserni C., Flacco G. (2010). Solar Thermal annd Biomass Energy. Universitiy of Bologna. Italy.
69. Long S.P. (1983). C4 photosynthesis at low temperatures. Plant Cell and Environment, 6: 345 – 363.
70. Long S.P. (1999). Environmental responses. U: C4 Plant Biology. Sage R.F. i Monson R.K. (ur.). Academic Press, San Diego. 215 - 49.
71. McKendry P. (2002). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. Bioresource Technology, 83: 37 – 46.
72. McKervey Z., Woods V.B., Easson D.L. (2008). *Miscanthus* as an energy corp and its potential for Northern Irland. Global Research Unit. AFBI Hillsborough. May, 2008. Northern Irland.
73. Miguez F.E., Villamil M.B., Long S.P., Bollero G.A. (2008). Meta-analysis of the effects of management factors on *Miscanthus×giganteus* growth and biomass production. Agriculturaland Forest Meteorology, 148: 1280 – 1292..
74. Mohan D., Pittman C.U., Steele P.H. (2006). Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review. Energ. Fuel, 9(3): 273-281.

75. Obernberger I. i Thek G. (2004). Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour. Biomass and Bioenergy, 27: 653 - 669.
76. Ošlaj M., Muršec B. (2010). Biogas as a renewable energy source. Technical Gazette 17, 1(2010), 109-114.
77. Podnar O. (2014). Miskantus- energetska biljka budućnosti. Alternativa za vas, <http://alternativa-za-vas.com/index.php/clanak/article/miskantus>. Pristupljeno 18. veljače 2016.
78. Ross C. J. (2008). Biomass Drying and Dewatering for Clean Heat & Power. Northwest CPH Application Center. USA.
79. Rukavina J. (2015). Iskorištavanje biomase od miskantusa za proizvodnju energije. Završni rad, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Osijek, Hrvatska.
80. Slepetys J., Kadziuliene Z., Sarunaite L., Tilvikiene V., Kryzeviciene A. (2012). Biomass potential of plants grown for bioenergy production. Renewable Energy and Energy Efficiency, 66-72.
81. Smeets E.M.W., Lewandowski I., Faaij A.P.C. (2009). The economical and environmental performance of miscanthus and switchgrass production and supplay chains in a European setting. Renewable and Sustainable Energy Reviews: 13: 1230-1245.
82. Šljivac D. i Šimić Z. (2009). Obnovljivi izvori energije. Energija iz biomase, Osijek, Hrvatska.
83. Telmo C, Lousada J, Moreira N. (2010). Proximate analysis, backwards stepwise regression between gross calorific value, ultimate and chemical analysis of wood. Bioresource Technology, 101: 3808–3815.
84. Van Loo S. i Koppejan J. (2008). The handbook of biomass combustion and cofiring. London – Sterling (VA), Earthscan. London, UK.
85. Vassilev S.V., Baxter D., Andersen L.K., Vassileva C.G. (2010). An overview of the chemical composition of biomass. Fuel, 89: 913 – 933
86. Voća N. (2009). Energetska iskoristivost biomase i biogoriva u poljoprivredi 1. Interna skripta Zavoda za Poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport. Agronomski fakultet, Zagreb.

87. Wichtmann W., Wichmann S. (2011). Environmental, Social and Economic Aspects of a Sustainable Biomass Production. Jour. of Sust. Ener. & Enviro. Special Issue: 77-81.
88. Wiesler F., Dickmann J., Horst W.J. (1997). Effects of nitrogen supply o growth and nitrogen uptake by *Miscanthus sinensis* during establishment. Zeitschrift für Pflanzenernahrung und Bodenkunde, 160: 25 - 31.
89. Zub H.W., Arnoult S., Brancourt-Hulmel M. (2011). Key traits for biomass production identified in different Miscanthus species at two harvest dates. Biomass and Bioenergy, 35: 637 - 651.

Web stranice (pristupljeno: ožujak-svibanj 2016):
http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030/index_en.htm
http://europa.eu/rapid/press-release_IP-14-54_hr.htm
www.ekologija.com.hr/zelena-energija-za-novo-tisucljece/
www.mingo.hr/userdocsimages/energetika/Direktiva%202009-28-EZ%20Hrv.pdf
www.tehno-dom.hr/obnovljivi-izvori-energije/energija-biomase

Slike (pristupljeno: svibanj 2016):

Slika 1. http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Production_of_primary_energy,_EU-28,_2013_(%25_of_total,_based_on_tonnes_of_oil_equivalent)_YB15.png

Slika 2. http://oie.mingo.hr/UserDocsImages/Biomasa%20prezentacija.pdf