

Proizvodni potencijal višegodišnjih energetske kultura u različitim agroekološkim uvjetima Republike Hrvatske

Kuzmić, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:204:168655>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-19**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

**PROIZVODNI POTENCIJAL VIŠEGODIŠNJIH
ENERGETSKIH KULTURA U RAZLIČITIM
AGROEKOLOŠKIM UVJETIMA REPUBLIKE HRVATSKE**

DIPLOMSKI RAD

Luka Kuzmić

Zagreb, rujan, 2022.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

Diplomski studij:

Obnovljivi izvori energije u poljoprivredi

**PROIZVODNI POTENCIJAL VIŠEGODIŠNJIH
ENERGETSKIH KULTURA U RAZLIČITIM
AGROEKOLOŠKIM UVJETIMA REPUBLIKE HRVATSKE**

DIPLOMSKI RAD

Luka Kuzmić

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Nikola Bilandžija

Zagreb, rujan, 2022.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

**IZJAVA STUDENTA
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI**

Ja, **Luka Kuzmić**, JMBAG 0178113827, rođen 06.09.1998. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradio diplomski rad pod naslovom:

**PROIZVODNI POTENCIJAL VIŠEGODIŠNJIH ENERGETSKIH KULTURA U RAZLIČITIM
AGROEKOLOŠKIM UVJETIMA REPUBLIKE HRVATSKE**

Svojim potpisom jamčim:

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

U Zagrebu, dana _____

Potpis studenta / studentice

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studenta **Luke Kuzmića**, JMBAG 0178113827, naslova

**PROIZVODNI POTENCIJAL VIŠEGODIŠNJIH ENERGETSKIH KULTURA U RAZLIČITIM
AGROEKOLOŠKIM UVJETIMA REPUBLIKE HRVATSKE**

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____, dana _____.

Povjerenstvo:

potpisi:

1. izv. prof. dr. sc. Nikola Bilandžija mentor

2. prof. dr. sc. Josip Leto član

3. prof. dr. sc. Neven Voća član

Sadržaj

1.	Uvod.....	1
1.1.	Cilj rada.....	2
2.	Biomasa u sustavu obnovljivih izvora energije.....	3
3.	Biomasa i biogoriva	5
4.	Poljoprivredna biomasa	7
5.	Energetske kulture	8
5.1.	Virdžinijski sljez (<i>Sida hermaphrodita</i> L. Rusby)	9
5.2.	Divlje proso (<i>Panicum virgatum</i> L.).....	10
5.3.	Miskantus (<i>Miscathus x giganteus</i>)	12
6.	Prinos i sastavnice prinosa.....	15
6.1.	Virdžinijski sljez	15
6.2.	Divlje proso	16
6.3.	Miskantus	17
7.	Agroekološki uvjeti u Republici Hrvatskoj	20
7.1.	Klima.....	20
7.2.	Tlo	22
8.	Istraživanja u Republici Hrvatskoj	23
8.1.	Virdžinijski sljez.....	23
8.1.1.	Lokacija uzgoja Maksimir	23
8.2.	Divlje proso	26
8.2.1.	Lokacija uzgoja Šašinovec	26
8.3.	Miskantus	28
8.3.1.	Lokacija uzgoja Medvednica.....	28
8.3.2.	Lokacija uzgoja Donja Bistra	32
8.3.3.	Lokacija uzgoja Ličko Petrovo Selo	35
8.3.4.	Lokacija uzgoja Šašinovec	37

8.3.5.	Lokacija uzgoja Zelina Breška	40
8.3.6.	Lokacija uzgoja Donji Lapac.....	41
8.3.7.	Lokacija uzgoja Krbavsko polje - Udbina.....	41
8.3.8.	Lokacija uzgoja Sisak – Žažina	42
9.	Rasprava.....	43
10.	Zaključak.....	46
11.	Popis literature	47
	Životopis	55

Sažetak

Diplomskog rada studenta **Luke Kuzmića**, naslova

PROIZVODNI POTENCIJAL VIŠEGODIŠNJIH ENERGETSKIH KULTURA U RAZLIČITIM AGROEKOLOŠKIM UVJETIMA REPUBLIKE HRVATSKE

Fosilna goriva su ograničena, a njihovo korištenje negativno utječe na okoliš. Biomasa je najčešće korišten obnovljivi izvor energije. Poljoprivrednu biomase je moguće koristiti kao primarno gorivo ili pretvoriti u sekundarno. *Miscanthus x giganteus*, *Panicum virgatum* i *Sida hermaphrodita* neke su od najznačajnijih poljoprivrednih kultura za proizvodnju biomase u svrhu dobivanja energije. Odlikuju ih dug životni vijek, visoki prinosi, uzgoj na tlima lošije kvalitete itd. U svijetu, uključujući Republiku Hrvatsku, provedena su brojna istraživanja nad tim kulturama. U Hrvatskoj su postavljeni pokusi na više različitih lokacija na kojima vladaju različiti agroekološki uvjeti. Provedeni su razni pokusi poput utjecaja sadnog materijala, gnojidbe, roka žetve i dr. na prinos i sastavnice prinosa. Dobiveni rezultati su uspoređeni s rezultatima raznih svjetskih i europskih istraživanja. Zaključeno je da su prinosi utvrđeni u RH na razini onih iz ostatka svijeta i da je moguće proizvesti velike količine kvalitetne biomase u različitim agroekološkim uvjetima RH.

Ključne riječi: energetske kulture, biomasa, proizvodni potencijal

Summary

Of the master's thesis - student **Luka Kuzmić**, entitled

PRODUCTION POTENTIAL OF PERENNIAL ENERGY CROPS IN DIFFERENT AGRO-ECOLOGICAL CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF CROATIA

Fossil fuels are limited, and their use has a negative impact on the environment. Biomass is the most widely used renewable energy source. Agricultural biomass can be used as primary fuel or converted into secondary fuels. *Miscanthus x giganteus*, *Panicum virgatum* and *Sida hermaphrodita* are some of the most important agricultural crops for the production of biomass for the purpose of obtaining energy. They are characterized by a long lifespan, high yields, growing on soils of poorer quality, etc. Numerous studies have been conducted on these crops in the world, including the Republic of Croatia. Experiments were set up in Croatia at several different locations with different agroecological conditions. Various experiments were conducted, such as the influence of planting material, fertilization, harvest time, etc. on yield and yield components. The obtained results were compared with the results of various world and European researches. It was concluded that the yields determined in the Republic of Croatia are at the level of those from the rest of the world and that it is possible to produce large quantities of quality biomass in the different agroecological conditions of the Republic of Croatia.

Keywords: energy crops, biomass, renewable energy, production potential

1. Uvod

Količina fosilnih goriva je ograničena, a ujedno se iskorištavaju u većoj mjeri nego što je moguće njihovo ponovno nastajanje (Ghadiryanfar i sur., 2016; Moheimani i Parlevliet, 2013). Također, korištenje takvih goriva nosi negativne posljedice po okoliš i doprinosi njegovoj degradaciji (Nikkhah i sur., 2016). Izvori energije poput ugljena, prirodnog plina i nafte sve slabije mogu zadovoljiti potrebe globalne ekonomije (Bhaskar i sur., 2011). Prije je potrebno fosilna goriva zamjenjivati s obnovljivim izvorima energije (Fiala i Bacenetti, 2012; Pedraza, 2015).

Najčešće korišten obnovljivi izvor energije je biomasa (Ul Hai i sur., 2019). Biomasa se prema Direktivi 2001/77/EC definira kao biorazgradivi dio proizvoda, otpada i ostataka iz poljoprivrede (uključujući biljne i životinjske supstance), šumarstva i drvne industrije kao i biorazgradivi dio industrijskog i komunalnog otpada. Smatra se da biomasa kao obnovljivi izvor posjeduje najveći potencijal za zadovoljavanje energetske potrebe modernog društva (European Commission, 1997).

Poljoprivredne energetske kulture (Tablica 1.1.) su uglavnom višegodišnje biljne vrste (*Miscanthus x giganteus*, *Sida hermaphrodita*, *Panicum virgatum*, *Arundo donax*) koje karakterizira mogućnost uzgoja na tlima s proizvodno-ekonomskim ograničenjima. Osim visokih prinosa, prednosti uzgoja višegodišnjih energetske kulture se odražavaju kroz obradu tla samo u prvoj godini uzgoja, niska agrotehnička ulaganja, povećanje plodnosti tla, pozitivan utjecaj na biološku raznolikost kao i smanjenje erozije (Bilandžija i sur., 2021). Njihovom preradom mogu se proizvesti biogoriva, toplina i/ili električna energija, kako i različiti biokompoziti (Kwasniewska i sur., 2022), a konverziju je moguće provesti termalnim, biološkim i fizikalnim procesima (Bridgewater i Maniatis, 2004). Glavna tri tipa biogoriva su bioplin, biodizel i bio-etanol (Hijazi i sur., 2016). U Europi je najveći interes za termalnim procesima pretvorbe dok je u Sjedinjenim Američkim državama fokus na proizvodnji etanola (Bridgewater, 2006).

U Republici Hrvatskoj je Zakonom o kulturama kratke ophodnje (NN 15/18 i 111/18) definirana mogućnost zasnivanja energetske nasade isključivo na tlima lošije kvalitete (P3 i PŠ kategorija). Od svih potencijalnih energetske kulture poljoprivrednog podrijetla Zakon jedino za sada priznaje samo višegodišnju travu miskantus (Bilandžija i sur., 2021).

Kako bi se utvrdila produktivnost i potencijal energetske korištenja miskantusa u različitim agroekološkim uvjetima Republike Hrvatske Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu započinje više različitih istraživanja počevši od 2011. godine na kulturi miskantus na različitim lokacijama unutar nizinskog, brdsko planinskog i submediteranskog područja Republike Hrvatske (Bilandžija i sur., 2021). Tijekom 2016. i 2017. godine Fakultet započinje istraživanja na Divljem prosu i Virdžinijskom sljezu. Prikaz i temeljna obilježja istraživanih kultura navedeni su u Tablici 1.1.

Tablica 1.1. Karakteristike najznačajnijih višegodišnjih energetskih kultura

Energetska kultura	Temeljna obilježja	Prikaz
<i>Miscanthus x giganteus</i> (Miskantus)	- Triploidna, sterilna, višegodišnja trava s jakim rizomima. - Uspravna stabljika 2,5 – 3,5 m. - Visoki prinosi (8 – 44 t ST/ha). - Niska osjetljivost na bolesti i štetnike.	
<i>Panicum virgatum</i> (Divlje proso)	- Višegodišnja trava. - Do 2,70 m visine. - Prinosi do 25 t ST/ ha. - Dubina sjetve maksimalno 1 cm. - Razmak redova oko 15 cm. - Sklop: 200-400 kljavih sjemenki/m².	
<i>Sida hermaphrodita</i> (Virdžinijski sljez)	- Višegodišnja kultura. - Porodica sljezovki (<i>Malvaceae</i>) porijeklom iz SAD-a i Kanade. - Visina: 1 – 4 m. - Prinosi: 9 – 11 t ST/ ha. - Životni vijek 15-20 godina.	

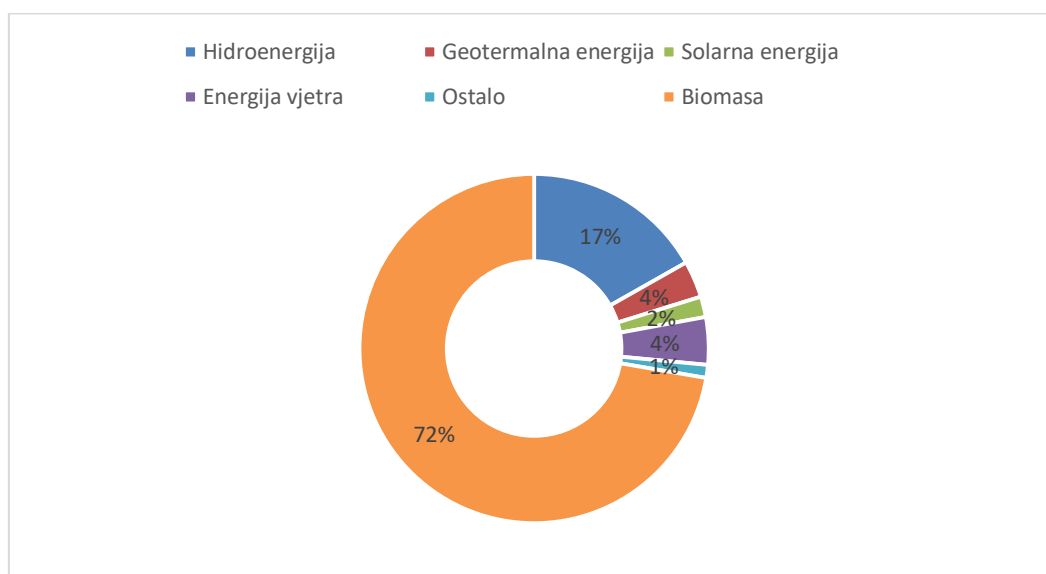
Izvor: Bilandžija i sur., 2017.

1.1. Cilj rada

Cilj rada je objediniti i prikazati literaturne podatke bazirane na proizvodnom potencijalu (prinos – t ST/ha i sastavnice prinosa – visina i/ili broj izboja) višegodišnjih energetskih kultura (Virdžinijskog sljeza, Divljeg prosa i Miskantusa) u različitim agroekološkim uvjetima Republike Hrvatske.

2. Biomasa u sustavu obnovljivih izvora energije

Obnovljivi izvori energije su oni izvori koji se konstantno obnavljaju. Stopa iskorištavanja bi trebala biti niža od stope kojom se takvi izvori obnavljaju. Energija vjetra, solarna energija i energija sadržana u biomasi su proizvod sunčevog zračenja na Zemlju. Tu je i geotermalna energija kao obnovljivi izvor. Iz ljudske perspektive Sunce je obnovljivi izvor energije koji se neće potrošiti. Prednosti obnovljivih izvora leže u diverzificiranosti izvora energije i sigurnijoj opskrbi, široj dostupnosti od fosilnih goriva i nacionalnoj energetskej neovisnosti, manjem utjecaju na zagađenje, dostupnosti u ruralnim i zabačenim područjima, potencijalu razvoja ekonomije, izostanku emisije viška stakleničkih plinova. Najviše obnovljive energije se dobiva iz biomase (Hoogwijk, 2004) (Grafikon 2.1.).



Grafikon 2.1. Udjeli dobivene energije iz pojedinih obnovljivih izvora.

Izvor: Tursi, 2019.

Postoji mnogo različitih oblika biomase s različitim sastavima. Biljni ostaci su uglavnom sastavljeni od celuloze, hemiceluloze i lignina, dok je gnoj životinja bogat proteinima, a žitarice škrobom. Zbog različitosti u sastavu razlikuju se i svojstva. S obzirom na različito porijeklo biomasa se može podijeliti na sljedeće grupe: drvo i drvenasta biomasa, zeljasta biomasa, akvatična biomasa, biomasa životinjskog i ljudskog otpada (Vassilev i sur., 2012).

Drvenasta biomasa je najznačajniji obnovljivi izvor energije na Zemlji. U nju se uglavnom ubrajaju drveće, korijenje, kora drveta, lišće drvenastih biljaka. Drvenasta biomasa trenutno je najvažniji obnovljivi izvor energije u svijetu (Tursi, 2019). Biomasa zeljastih kultura prema Europskom standardu EN 14961-1 ima sljedeću definiciju: "Zeljasta biomasa je od biljaka koje nemaju odrvenjelu stabljiku i koje odumiru na kraju vegetacijske sezone. Uključuje žitarice ili sjeme usjeva iz industrije prerade hrane i njihove nusproizvode poput slame". Općenito se može podijeliti na dvije grupe: 1. Poljoprivredni ostaci; 2. Energetski usjevi (Tursi, 2019). Akvatična biomasa uključuje makroalge, mikroalge i vodene biljke (Dibenedetto, 2011). Alge odlikuje sposobnost da konvertiraju sunčevu svjetlost, vodu i CO₂ u širok spektar

kemikalija koje se nakupljaju u njihovoj biomasi (Vassilev i Vassileva, 2016). Biomasa životinjskog i ljudskog otpada se najčešće sastoji od kostiju, mesa, izmeta različitih životinja i ljudskog izmeta. Sve stroži ekološki propisi zahtijevaju odgovarajuće gospodarenje ove vrste otpada. Ovakva vrsta biomase je pogodna na korištenje putem anaerobna digestija odnosno bioplina (Horan, 2018).

Dva su glavna nosača energije u koje je moguće preraditi biomasu (McKendry, 2002):

- Električna/toplinska energija,
- Transportna goriva.

Na planeti Zemlji se nalaze velike količine biomase različito dostupne po područjima i u različitim oblicima. Neki izvještaji procjenjuju da je energetska potencijal biomase 80 puta veći od ukupne godišnje potrošnje energije u svijetu. Prema podacima iz 2019. godine 14% primarne energije dobiveno je iz biomase. Među dijelovima svijeta postoje značajne razlike u korištenju biomase kao izvora energije. Neke države dobivaju i preko 50% energije iz biomase, u razvijenim zemljama to je u prosjeku 11% (WBA, 2018). Sjedinjene Američke Države i Europa dobivaju oko 3% energije iz biomase. Iznad prosjeka su Finska sa 18%, Švedska 17%, a Austrija 13% (Habert i sur., 2010).

3. Biomasa i biogoriva

Za razliku od svih ostalih obnovljivih izvora energije iz biomase je moguće proizvesti tekuća i plinovita biogoriva (Saladini i sur., 2016). Biogoriva se definiraju kao "Bilo koje gorivo koje se proizvodi iz sirovina biljnog ili životinjskog podrijetla (koje se nazivaju "biomasom")" (Europska unija, 2016). Ovisno o sirovinama koje se koriste i načinu proizvodnje, biogoriva se dijele na četiri grupe: prva, druga, treća i četvrta generacija. Tri najvažnija biogoriva su bioetanol, biodizel i bioplin.

Goriva prve generacije su ona goriva koja se dobivaju iz jestive biomase. To su sirovine bogate škrobom (kukuruz, pšenica, ječam i dr.) i šećerom (šećerna repa, šećerna trska) (Rodionova i sur., 2017). Vjerojatno najveći problem proizvodnje goriva ove generacije je natjecanje za sirovinu s prehrambenom industrijom što potencijalno može dovesti to problema u opskrbi hranom. Povećana proizvodnja dovodi do natjecanja za zemljište i prenamjene zemljišta (Naqvi i Yan, 2015). Bioetanol prve generacije se dobiva fermentacijom sirovina bogatih škrobom i šećerom. Primarno se koristi u motorima s unutarnjim izgaranjem kao dodatak derivatima nafte ili samostalno (Norkobilov i sur., 2019). Biodizel ove generacije se proizvodi uglavnom iz ulja uljarica. Neke od najčešćih jestivih kultura u proizvodnji biodizela su: uljana repica, soja, suncokret, kikiriki, palma, kukuruz, maslina, kokos. Najrazvijenija metoda dobivanja estera masnih kiselina (biodizel) je transesterifikacija triglicerida alkoholom, a kao nusproizvod se javlja glicerol (Amini i sur., 2017). Primjenjuje se u dizelskim motorima kao samostalno gorivo ili u mješavini s naftnim dizelom, a mora zadovoljavati uvjete propisane EN 14214 standardom (Jokiniemi i Ahokas, 2013). Biodizelska goriva dobivena iz različitih sirovina se često razlikuju u nekim svojstvima (Lang i sur., 2001). Bioplin se proizvodi u postrojenjima za anaerobnu digestiju, koriste se razne sirovine među kojima su učestale travne silaže. U zemljama poput Njemačke i Austrije visoka je upotreba kukuruzne silaže zbog njezinih visokih prinosa metana (Scarlat i sur., 2018).

Za proizvodnju goriva druge generacije koristi se lignocelulozna biomasa (Trabelsi i sur., 2018). Iz lignocelulozne biomase se kroz razne termokemijske i biološke procese mogu proizvesti goriva (Carriquiry i sur., 2011). Direktnim izgaranjem čvrste mase može se direktno proizvesti toplina i električna energija (Nygaard i sur., 2016). Dobivanje etanola iz lignocelulozne biomase zahtjeva više koraka u proizvodnji u usporedbi sa sirovinama prve generacije. Potrebno je razbiti strukture složenih molekula na jednostavnije čestice i koristiti odgovarajuće organizme za fermentaciju različitih produkata razgradnje složenih molekula. Pored sirovina druge generacije za dobivanje etanola mnogo je i onih iz kojih se proizvodi biodizel. Energetske kulture, poljoprivredni ostaci, ostaci iz šumarstva neki su od pogodnih tipova sirovina. Od energetske kulture najčešće se koriste jatrofa, kukui, kaučuk, mahua i jojoba. Pored njih koriste se i otpadno jestivo ulje, ostale nejestive uljarice, goveđi loj, svinjska mast i ostale životinjske masti (Bhuiya i sur., 2016; Alalwan i sur., 2019). Još jedno gorivo koje se proizvodi iz lignocelulozne biomase je alkohol butanol. U nekim svojstvima je napredniji od etanola jer izgaranjem daje oko 25% više energije, manje evaporira, manje je korozivan i čišće izgara (Nanda i sur., 2017). Dobiva se fermentacijom ugljikohidrata takozvanom acetan-

butanol-etanol fermentacijom (ABE) (Xue i sur., 2016). Postoje i drugi načini poput korištenja vinskog kvasca ili kemijske pretvorbe kojima se dobivaju neki od izomera butanola (*n*-butanol, *iso*-butanol, *t*-butanol, *i*-butanol) (Mack i sur., 2016). U procesu anaerobne digestije djelovanjem mikroorganizama dobiva se bioplin. Sirovine poput lignocelulozne biomase su također pogodne za taj proces, ali se takva biomasa prethodno mora obraditi fizikalno, kemijski ili biološki kako bi postala dostupna za mikroorganizme (Wagner i sur., 2018). Česte u upotrebi su i sirovine poput životinjskog gnoja, biorazgradive frakcije otpada i otpada od hrane (Sawatdeenarunat i sur., 2017).

Treća generacija biogoriva se odnosi na ona goriva koja za sirovinu koriste mikroorganizme od kojih su najviše korištene mikroalge. Istraživanja pokazuju da su mikroalge obećavajuća sirovina za proizvodnju biodizela pa i bioetanola, a uz to ne konkuriraju proizvodnji hrane. Ne zahtijevaju puno prostora za uzgoj te se na istim površinama može proizvesti 15 – 300 puta više ulja za biodizel nego kroz uzgoj tradicionalnih kultura. Za veće korištenje mikroalgi ipak treba savladati prepreke u proizvodnji od dizajna reaktora, prikupljanja, sušenja te na kraju prerade, kako bi se smanjila cijena proizvodnje (Dragone i sur., 2010).

Četvrta generacija biogoriva se dobivaju iz genetski modificiranih mikroorganizama. To mogu biti mikroalge, kvasci, gljive, bakterije i cijanobakterije. Tehnologija proizvodnje ove generacije biogoriva je još uvijek u začetima (Alalwan i sur., 2019).



Slika 3.1. Četiri generacije biogoriva
Izvor: Khan i sur., 2021.

4. Poljoprivredna biomasa

Mnogo je različitih sirovina za proizvodnju obnovljive energije, ali prednost poljoprivredne biomase leži u pouzdanoj i visokoj dostupnosti. U prošlosti su se ostaci iz poljoprivrede najčešće spaljivali ili su ostavljani da se prirodno razgrade u organsko gnojivo. Izazovi novog doba i sve većih potreba za održivom proizvodnjom energije otvaraju mogućnosti korištenje poljoprivrednih ostataka u energetske sektoru (Harshwardhan i Upadhyay, 2017). Predviđa se sve veća poljoprivredna proizvodnja s obzirom na rast svjetske populacije (FAO, 2017), poljoprivredi biljni ostaci u toj situaciji predstavljaju značajan potencijal u dobivanju energije. Ovu vrstu biomase je moguće koristiti u izvornom stanju kao primarno gorivo npr. izgaranjem, ali postoji i mogućnost pretvorbe u sekundarna goriva poput bioetanol, biodizela, biougljena i dr. (Sabiiti, 2011).

Poljoprivredna biomasa može se podijeliti obzirom na tip poljoprivredne proizvodnje na (Bilandžija, 2015):

1. Biomasa ratarske proizvodnje (sijeno, slama, stabljike, kukuruzovina, oklasak, ljuske).
2. Biomasa voćarsko-vinogradarske proizvodnje (orezani ostaci trajnih nasada)
3. Biomasa iz dorade i prerade poljoprivrednih sirovina u prehrambenoj industriji (komina masline, komina grožđa, komina uljarica, koštice voća, ljuske jezgričavog voća)
4. Biomasa iz povrćarstva i ukrasne hortikulture (otpad iz vrtova i parkova)
5. Biomasa stočarske proizvodnje (gnoj, gnojica, klaonički otpad, otpad u ribarstvu, mesno-koštano brašno)
6. Biomasa energetskih kultura (kineski šaš (*Miscanthus sp.*), divovska trska *Arundo donax*), sirak (*Sorghum halapense*), blještac (*Phalaris arundinacea*).

5. Energetske kulture

Uzgajanje energetskih kultura na poljoprivrednom zemljištu ima veliki potencijal za implementacije obnovljive energije u većoj mjeri, ali s druge strane takva proizvodnja može zauzimati zemljišta u proizvodnji hrane. Pored toga, smatra se da je moguće reducirati emisije stakleničkih plinova samo ako se ne zadire u poljoprivredna zemljišta i odustane od prenamjene površina na kojima se nalaze prirodne šume (Tilman i sur., 2009). Predviđa se da do 2030. godine u EU-27 oko 26,3 milijuna hektara neće biti iskorišteno u proizvodni hrane za ljude ili životinje. U slučaju kada proizvodnja hrane na nekom tlu nije ekonomski opravdana takvo tlo se može nazvati marginalnim. Takva tla su prilika za energetske kulture, posebno one višegodišnje koje se pokazuju pogodne za uzgoj na takvim tlima. Kod marginalnih tala postoji heterogenost pa je potrebno zasebno razmotriti specifičnost pojedine površine prije zasnivanja nasada (Krasuska i sur., 2010). Ekonomske prednosti uzgoja energetskih kultura na marginalnim tlima za proizvođače mogu značiti dodatan profit, a u širem pogledu razvoj tržišta biogoriva, biomaterijala i dr. U društvenom smislu, razvoj ruralnih sredina i nova radna mjesta, lokalna dostupnost i energetska nezavisnost samo su neke od prednosti takve proizvodnje (Zegada-Lizarazu i sur., 2010).

Višegodišnje brzorastuće energetske kulture poljoprivrednog podrijetla uglavnom pripadaju porodici trava, a karakteriziraju ih životni vijek duži od petnaest godina, visoki prinosi po jedinici površine, mogućnost uzgoja na tlima lošije kvalitete te manji agrotehnički zahvati u odnosu na konvencionalne usjeve. Korištenje adekvatne poljoprivredne tehnike predstavlja važan čimbenik u cjelokupnoj energetske, ekološke i ekonomske bilanci uzgoja energetskih kultura (Bilandžija i sur., 2017). Nakon treće, četvrte godine formiraju gusti sklop s izuzetno visokim i čvrstim izbojima, stoga se poseban naglasak treba staviti na sustav žetve. U žetvi energetskih kultura uglavnom se koristi mehanizacija za spremanje sjenaže i silaže primjenom jednofazne ili višefazne tehnike (Bilandžija i sur., 2020). Upravljanje, ali i tehnička izvedba mehanizacije značajno utječe na energetske bilancu samih usjeva, kao i na postizanje što boljih prinosa biomase (Huisman, 2003).

Energetske kulture imaju široku upotrebu, visoke energetske vrijednosti te niske zahtjeve za tlo. Biomasu energetskih kultura moguće je koristiti u proizvodnji tekućih, krutih i plinovitih biogoriva.

5.1. Virdžinijski sljez (*Sida hermaphrodita* L. Rusby)

Virdžinijski sljez (*Sida hermaphrodita*) je vrsta koja pripada porodici sljezovki (*Malvaceae*). Nativna je za Sjevernu Ameriku (Borowska i Molas, 2012). Raste na vlažnim područjima, zasjenjenim mjestima, riječnim terasama, poplavnim ravnica kao i uz željezničke pruge i ceste (Spooner i sur., 1985). Višegodišnja je vrsta čiji izbojci počinju s rastom otprilike u mjesecu travnju iz dobro razvijenih rizoma. Smatra se da se virdžinijski sljez razmnožava seksualno putem sjemena i aseksualno širenjem rizoma (Environment Canada, 2015). Očekivani životni vijek je oko 20 godina od sadnje i relativno je neosjetljiva na štetnike i bolesti iako se mogu pojaviti neke infekcije (Remlein-Starosta i sur., 2016). U Europi je okarakterizirana kao termofilna vrsta (Franzaring i sur., 2015), ali navodi se da podnosi i temperature manje od -35 °C (Borkowska i sur., 2006). U odnosu na ostale energetske kulture smatra se nešto osjetljivijom na nedostatak vode premda se i dalje vodi kao otporna na sušu (Smolinski i sur., 2011; Jankowski i sur., 2016). U Poljskoj su 1980-ih počela istraživanja virdžinijskog sljeza u energetske svrhe zbog njezinih visokih prinosa, niske vlažnosti u zimskom roku žetve i lakoće žetve, prerade i skladištenja (Oleszek i sur., 2013). Navodi se da virdžinijski sljez dostiže visinu veću od 4 metra u jednoj vegetaciji i preko 40 izboja po metru kvadratnom (Borkowska i Molas, 2012).



Slika 5.1.1. Virdžinijski sljez

Izvor: <https://www.tfz.bayern.de/rohstoffpflanzen/mehrjaehrigekulturen/085998/index.php>

Zasnovati nasad se može sjemenom, presadnicama ili rizomima (Nahm i Morhart, 2018). Presadnice mogu biti uzgojene iz sjemena prije presađivanja u polje. Neki autori navode da je zasnivanje sjemenom nepouzđano i sporo zbog niske stope klijavosti sjemena (5 – 15%). Spooner i sur. (1985) sugeriraju da bi skarifikacija sjemena trebala rezultirati visokom stopom klijavosti (oko 92%), a Franzaring i sur. (2015) ističu tretman niskim temperaturama kako bi se prekinula dormantnost. Zasnivanje energetskih nasada rizomima se pokazalo uspješno i rezultira visokim godišnjim prinosima (Antonkiewicz i sur., 2017; Kurucz i sur., 2018), a sadnja rizoma se može obaviti sadilicama za krumpir (Jasinskas i sur., 2014).

Tijekom perioda zasnivanja nasada potrebno je suzbijati korove i to primarno nekemijskim metodama uslijed osjetljivosti virdžinijskog sljeza na herbicide. U godinama nakon zasnivanja nasada potrebna je samo minimalna kontrola korova zbog ranog početka rasta, a pogotovo nakon zatvaranja sklopa (Kurucz i sur., 2014).

Glavni razlog istraživanja virdžinijskog sljeza je njegovo korištenje za proizvodnju obnovljive energije, najčešće u okviru direktnog izgaranja i proizvodnje bioplina. Jablanowski i sur. (2017) navode da je virdžinijski sljez kod izgaranja sličnih svojstava kao drvenasta biomasa. Zbog velikog volumena biomase testirano je peletiranje i briketiranje u čemu je biomasa virdžinijskog sljeza zadovoljila potrebne zahtjeve gustoće ($>650 \text{ kg m}^{-3}$) (Lisowski i sur., 2011). Za uspješnu anaerobnu digestiju biomase virdžinijskog sljeza potrebno je predtretmanima razbiti molekule lignina čiji udio je veći kod virdžinijskog sljeza nego li je to kod travnatih kultura (Debowski i sur., 2012).

5.2. Divlje proso (*Panicum virgatum* L.)

Divlje proso (*Panicum virgatum* L.) višegodišnja je trava koja je prepoznata kao energetska kultura, a porijeklom je iz Sjeverne Amerike. Prirodno raste u prerijama, otvorenim šumama, bočatim močvarama i borovim šumama (Vogel i sur., 2011). Dobro se prilagođava i raste u različitim uvjetima, tako i na nešto lošijim tlima (Sanderson i sur., 2006). Tolerira razne abiotičke uvjete uključujući poplave, sušu i ekstremnu vrućinu i hladnoću, a relativno je otporan na bolesti i napade insekata (Boateng i sur., 2006; Vogel i sur., 2011). Visina prosa se kreće od 0,5 do 3 metra te najčešće pojavljuje u busenu s kratkim rizomima. Korijen može doseći dubinu od 3 metra. Razmnožavanje i zasnivanje nasada se može provesti sjemenom, izbojcima i rizomima (Newman i Moser, 1988). Tvori sjeme s prosječno 850 sjemenki po gramu s varijacijama do 200% ovisno o okolišnim uvjetima i kultivaru (Vogel, 2004). Odlikuje ga C4 tip fotosinteze, a posjeduje i anatomske i fiziološke karakteristike C4 trava (Waller i Lewis, 1979). Sadnja ili sjetva se preporuča u istim rokovima kao i kod kukuruza. Dva su glavna ekotipa: nizinski i gorski. Nizinski ekotip odlikuje brži i viši rast nego li je to kod brdskog ekotipa. Proso je vrsta osjetljiva na fotoperiodizam i zahtjeva kratke dane za ulazak u generativnu fazu (Benedict, 1941). Rast u novoj sezoni počinje u proljeće iz aksilarnih pupova na stabljici, vratu korijena i rizomima (Beaty i sur., 1978).

Zasnivanje nasada nije skupo i relativno je brzo, a za uzgoj i žetvu se koristi konvencionalna oprema (David i Ragauskas, 2010). Sjeme prosa je dormantno, a prekinuti

dormantnost se može tretmanom niskim temperaturama ili hladnom stratifikacijom (Shen i sur., 2001). Minimalna temperatura klijanja je 10°C (Hsu i sur. 1985). Generalno, zasnivanje nasada se preporuča u periodu od 3 tjedna prije do 3 tjedna nakon preporučenog roka sjetve za kukuruz (Panciera i Jung, 1984). O broju biljaka po jedinici površine ovisi vrijeme potrebno za postizanje punog prinosa, tako npr. kod 20 biljaka po kvadratnom metru već se u godini zasnivanja postižu zadovoljavajući rezultati, a slijedeće sezone dolazi do pune rodnosti (Vogel i Masters, 2001). Nasad gustoće 10 biljaka po kvadratnom metru ulazi u puni prinos godinu do dvije kasnije, a nasad gustoće manje od 10 biljaka po kvadratnom metru treba popuniti ili ponovno zasnovati (Schmer i sur., 2006). Najviši prinosi se postižu kod jedne košnje godišnje za vrijeme cvatnje nakon čega prinos opada za do 10 – 20% prije pojave mraza (Vogel i sur., 2002). Uzgoj prosa pomaže u redukciji erozije tla (Ma i sur., 2000). Poboljšava svojstva tla sekvestracijom ugljika kojeg veže u korijenovom sustavu, a sve to ima pozitivan utjecaj na okoliš (Bransby i sur., 1998).



Slika 5.2.1. Divlje proso (*Panicum virgatum* L) Izvor:

<https://livingmydreamlifeonthefarm.com/2021/01/20/switch-grass-panicum-virgatum/>

Proso se sve do danas koristi kao kultura za ispašu stoke, sije se na pašnjacima kao samostalna kultura ili u smjesi s ostalim vrstama, također, daje kvalitetno sijeno (Vogel, 2004). Proso je kultura prikladna za korištenje u energetske svrhe uzimajući u obzir kvalitete koje posjeduje (Sanderson i sur., 1996). Zidovi stanica prosa i sličnih trava primarno su građeni od celuloze i hemiceluloze, rastavljanjem tih molekula na jednostavnije tvari, te tvari se mogu fermentirati u svrhu proizvodnje alkohola kao goriva (Vogel, 1996). Koristiti se može za izravno

izgaranje u proizvodnji topline, struje ili pare ili se procesom rasplinjavanja može dobiti sintetički plin (McLaughlin i sur., 1999).

5.3. Miskantus (*Miscanthus x giganteus*)

Miskantus (*Miscanthus x giganteus*) je višegodišnja rizomatska trava koja se ističe kao jedna od najboljih lignoceluloznih energetskih kultura. Vrste roda *Miscanthus* native su za područja istočne Azije, tropskih i suptropskih pacifičkih otoka, topla i subarktička područja (Hayashi i sur., 1997; Muton i sur., 1985). Uspijeva na područjima umjerene kontinentalne klime te posjeduje mnoge povoljne karakteristike (Somerville i sur., 2010). Prirodni je triploid, nastao križanjem *Miscanthus sacchariflorus* (diploid) i *Miscanthus sinensis* (tetraploid), zbog čega je i sterilan (Greef i Deuter, 1997). Očekivani životni vijek je između 18 i 20 godina, a visina može varirati od 1 metra pa sve do 7 metara (prosječno 3,5 metara) što ovisi i o uvjetima u kojima raste. Vrsta je sa C4 tipom fotosinteze zbog čega je fotosinteza visoko efikasna te je stopa fiksacije CO₂ visoka, a efikasnost ostaje visoka i na niskim temperaturama (Christian i sur., 2008; Tubeilah i sur., 2016). Iskorištavanje vode kod miskantusa je vrlo efikasno (McCalmont i sur., 2017). Dobro razvijeni korijen i rizomi omogućavaju usvajanje hraniva iz dubljih slojeva tla (Neukirchen i sur., 1999). Posjeduje sposobnost translokacije dušika i ostalih hraniva u rizome u periodu prestanka vegetacije. Na temelju te sposobnosti moguća je visoka produkcija biomase u periodu od nekoliko godina, a bez dodavanja ili uz minimalno dodavanje gnojiva (Christian i sur., 2008). Dobro uspijeva na raznim tipovima tala, a u uvjetima s ograničenom količinom vode najbolje uspijeva na glinenim tlima dok u pjeskovitim tlima uspijeva slabije (Christian i Haase, 2001).



Slika 5.3.1. Miskantus (*Miscanthus x giganteus*)

Izvor: <https://www.eurekalert.org/multimedia/903521>

Budući da je sterilan, miskantus se najčešće razmnožava, dijeljenjem rizoma ili mikropropagacijom. Relativno je lagano provesti razmnožavanje, ali proizvodnja komercijalnih količina ipak je nešto zahtjevnija. Rizomi koji se mehanički vade najčešće imaju masu od 10 – 25 grama. Uspoređujući produkciju biomase na kraju vegetacijske sezone utvrđeno je da nema značajne razlike između rizoma od 20 – 25 grama i onih od 40 grama. Od jednog jednogodišnjeg rizoma dobije se oko 7 – 10 komada, a od dvogodišnjeg rizoma 25 – 30 komada rizoma (Pyter i sur., 2009). Mali komadi rizoma veličine dva do tri nodija se također mogu koristiti za razmnožavanje na način da se iz njih uzgoje sadnice u posudama. Na taj način je moguće dobiti veliku količinu sadnog materijala iz male količine rizoma, ali nasad zasnovan takvom vrstom sadnog materijala zahtjeva dobru opskrbljenost vodom zbog osjetljivosti sadnica (Heaton i sur., 2010). Sadnju rizoma i sadnica je moguće provesti sadilicama koje se koriste u povrćarstvu. Najbolji rezultati u godini zasnivanja se postižu kada se rizomi sade na dubinu od 10 cm, a gustoća nasada varira od 10 000 – 12 000 biljaka po hektaru (Pyter i sur., 2009). Navodi se da u slučaju zasnivanja nasada malim komadima rizoma ili sadnicama gustoća nasada može varirati od 20 000 – 25 000 biljaka po hektaru kako bi se popunile praznine u nasadu zbog sporijeg razvoja takvih biljaka (Huisman i Kortleve, 1994). S obzirom da su mlade biljke miskantusa osjetljive na mraz sadnja se obavlja u proljeće nakon prolaska rizika od mraza (Lewandowski i sur., 2000). Kritično razdoblje za nasad miskantusa je prva zima nakon

zasnivanja, ako biljka preživi prvu zimu najvjerojatnije će preživjeti i nadolazeće (Clifton-Brown i sur., 2001). Kontrola korova je potrebna tijekom prve, a u nekim slučajevima i tijekom druge godine kako bi se nasad uspješno zasnovao (Christian i Haase, 2001).

Peletiranjem i briketiranjem miskantusa se dobiva čvrsto biogorivo koje je može koristiti u procesima izravnog izgaranja (Bilandžija, 2014). Biomasa miskantusa je pogodna i za proizvodnju bioetanola zbog visokog sadržaja celuloze, a fermentacija se obično provodi nakon predtremana i saharifikacije (Lee i Kaun, 2015; Wang i sur., 2021). Potencijal proizvodnje bioplina također je velik uz pravodoban rok žetve (listopad), a za održivost nasada je potrebno vratiti iznesene nutrijente što se može postići primjenom anaerobnog digestata (Kiesel i Lewandowski, 2017).

6. Prinos i sastavnice prinosa

6.1. Virdžinijski sljez

Prinos biomase uobičajeno ovisi o tipu tla, klimi, gnojidbi i kontroli korova (Nahm i sur., 2018). Direktno povezano s prinosom virdžinijskog sljeza je broj izbojka po biljci i srednji promjer izboja (Matyka i Kus, 2018). Prinosi u godini zasnivanja nasada veoma ovise o načinu zasnivanja nasada, a Facciotto i sur. (2018) navode da variraju od 0,4 do 6,6 t ST/ha. U slijedećim godinama se prinos povećava do nekih 2,9 – 20 t ST/ha (Cumplido-Marin i sur., 2020). Borkowska i sur. (2009) su u Poljskoj u godini zasnivanja nasada zabilježili jednu stabljiku po biljci izraslu iz sjemena. U drugoj godini prosječan broj izboja po metru kvadratnom je iznosio 9,8 dok je u sljedećoj godini taj broj bio dvostruko veći. Razlika u broju izboja na parceli između treće i četvrte godine uzgoja nije bila značajna. U istom istraživanju uspoređen je utjecaj različitih doza gnojidbe dušikom. Primjenom 200 kg/ha dušika nije dobivena značajna razlika u broju izboja u odnosu na gnojidbu 100 kg/ha dušika. Povećanjem količine dodanog fosfora s 39,28 na 52,38 kg/ha broj izbojaka po metru kvadratnom se povećao za 2 u četverogodišnjem prosjeku što je na površini od jednog hektara 20 000 izbojaka više. Visina stabljika isto tako je značajno rasla do treće godine, a u četvrtoj godini nije zabilježena značajna razlika u odnosu na treću godinu uzgoja. Značajnija količina biomase dobivena je u drugoj godini uzgoja, a ulazak u punu rodost dogodio se otprilike u četvrtoj godini uzgoja kada je ostvaren prinos od prosječno 11,08 t/ha ST i slijedeće godine je ostao na otprilike istoj razini. Szemplimski i sur. (2017) su u Poljskoj utvrdili slične prinose suhe tvari nasada zasnovanog korijenovim reznicama, ali je do prinosa od 11,2 t/ha ST došlo već u drugoj godini uzgoja s 3,5 biljaka po metru kvadratnom i gnojdbom od 150 kg/ha N; 43,6 kg/ha P; 125 kg/ha K. Za razliku od toga Borkowska i Molas (2012) u Poljskoj su već u drugoj godini uzgoja su zabilježili prinos od 15,310 t/ha ST do 22,630 t/ha ST u četvrtoj godini nasada zasnovanog korijenovim reznicama gustoće 4,08 biljaka po metru kvadratnom uz gnojdbu od 100 kg/ha N; 35 kg/ha P; 83 kg/ha K. Istraživanje koje su proveli Jablonowski i sur. (2020) u Njemačkoj imalo je za cilj utvrditi razlike između prinosa različitih gustoća nasada zasnovanih korijenovim reznicama. Postavljen je pokus (2016) s varijantama od jedne, dvije i četiri korijenove reznice po metru kvadratnom. U drugoj godini starosti (2017) nasada dobiveni su prinosi od 10,3; 12,2; 17,0 t/ha ST za 1, 2, 4 biljke po metru kvadratnom. Zbrajanjem prinosa prve, druge i treće godine dobiveno je prosječno 21,4; 28 i 34,3 t/ha ST za 1, 2 i 4 biljke po metru kvadratnom.

Uspoređujući prinose suhe tvari kroz desetogodišnje razdoblje (2003 – 2012) između generativno i vegetativno zasnovanog nasada Molas i sur. (2021) izvješćuju o višim prinosima vegetativno zasnovanog nasada. Prosječni desetogodišnji prinos vegetativno zasnovanog nasada iznosio je 16,84 t/ha ST dok je kod generativnog iznosio 10,86 t/ha ST. Praćen je i broj izbojaka koji ide u korist vegetativnog sadnog materijala u odnosu na generativni sadni materijal. U svih 10 praćenih sezona prosječan broj izbojaka je bio viši kod vegetativno razmnoženih biljaka. Visina biljaka uzgojenih vegetativno prosječno kroz deset godina iznosila

je 292 centimetra dok je prosjek generativno uzgojenih biljaka bio znatno niži i to 267 centimetara.

U uvjetima sjevernoeuropske klime u Finskoj Papamatthaiakis i sur. (2021) su dobili prinos od 16,72 t/ha ST u trećoj godini uzgoja (2013) pri gustoći nasada od 6650 biljaka po hektaru. Za vrijeme trajanja pokusa najniža zabilježena temperatura iznosila je -20 °C (veljača, 2012), a najviša 21,9 °C (srpanj, 2012).

6.2. Divlje proso

U istraživanju koje su proveli Sanderson i sur. (1999) u Sjevernoj Americi, navodi se da je prinos divljeg prosa najviši kod žetve provedene sredinom rujna. Prinos biomase uglavnom se smanjuje nakon prvog mraza, a u prilog tome Adler i sur. (2006) izvješćuju o padu prinosa biomase od 40% kada je žetva odgođena za proljeće. Međutim, Casler i Boe (2003) pokazuju da žetva sredinom kolovoza u centralnoj i na sjeveru Sjeverne Amerike rezultira padom gustoće nasada kroz godine.

Istraživanje koje su proveli Sharma i sur. (2003) (Trisaia, Italija) pokazalo je da broj izbojaka divljeg prosa po metru kvadratnom raste kroz drugu i treću sezonu uzgoja dok je za četvrtu sezonu zabilježen pad brojaka izbojaka kod većine promatranih kultivara. Zabilježeno je prosječno 945; 1601 i 992,8 izbojaka po metru kvadratnom za drugu, treću i četvrtu sezonu. Prinosi suhe tvari rasli su značajno do treće uzgojne sezone, a u četvrtoj sezoni je došlo do stabilizacije prinosa. Između različitih kultivara dobiveni prinosi su značajno varirali. U drugoj sezoni prinosi su bili u rasponu od 1,71 – 14,62 t/ha ST s prosjekom od 7,14 t/ha ST; u trećoj sezoni u rasponu od 5,63 – 26,08 t/ha ST s prosjekom od 12,36 t/ha ST; u četvrtoj sezoni od 3,30 – 21,83 t/ha ST s prosjekom od 10,27 t/ha ST. U Sjedinjenim Američkim državama zabilježeni su prinosi u rasponu od 0,9 – 34,6 t/ha ST (Pfeifer i sur., 1990).

Razlike u prinosima nizinskog i gorskog ekotipa divljeg prosa utvrdili su Fuentes i Taliaferro (2002) na dvije lokacije u Oklahomi (Sjeverna Amerika). Tri nizinska kultivara su na obje lokacije u svim promatranim sezonama (1994 – 2000) dala više prinose u odnosu na šest gorskih kultivara. U Teksasu i Alabami za nizinski kultivar Alamo zabilježeni su prinosi od 13,2 i 26,0 t/ha ST, za kultivar Kanlow 10,1 i 18,5 t/ha ST (Lewandowski i sur., 2003). Po Wullschlageru i sur. (2010) prosječni prinosi gorskih kultivara iznose $8,7 \pm 4,2$ dok je za nizinske kultivare to $12,9 \pm 5,9$ t/ha ST.

Lewandowski i sur. (2003) navode da se prinos u Europi kreće u rasponu od 5 – 23 t/ha ST od kojih su najviše prinose postigli nizinski kultivari. Parrish i Fike (2005) utvrđuju prinos od prosječnih 15 t/ha ST, a Wullschlager i sur. (2010) navode maksimalne prinose u južnim dijelovima Sjeverne Amerike i Europe iznad 20 t/ha ST. Virgilio i sur. (2006) su u istraživanju provedenom u Bolonji (Italija) dobili prinose od 2,3 – 14,6 t/ha St u prvog godini, 3,7 – 24,4 t/ha ST u drugoj godini uzgoja i utvrdili značajan utjecaj različitih parametara tla na prinos od kojih pogotovo količine dušika i fosfora u tlu.

Utjecaj gnojidbe dušikom istražili su Taranenko i sur. (2019) na eksperimentalnom polju u Poltavi (Ukrajina) u razdoblju od 2010. – 2016. Aplikiranje 15, 30, 40 i 60 kg N/ha rezultiralo je višim prinosima u odnosu na kontrolu, najviši prinosi su zabilježeni kod primjene

30 kg N/ha dok su veće količine dodanog dušika uzrokovale smanjenje prinosa. Istraživanje je pokazalo da kretanje prinosa prate i visina biljaka te broj izbojaka po kvadratnom metru.

Pomicanjem roka žetve divljeg prosa dobiva se kvalitetnija biomasa i smanjuje se iznošenje nutrijenata, međutim, Elbersen i sur. (2013) izvješćuju da prinosi kasnije žetve mogu biti 30 – 40% niži u odnosu na žetvu u rujnu ili listopadu. Uspoređujući jesensku i proljetnu žetvu Adler i sur. (2006) dobili su od 20 – 24% niže prinose za proljetnu žetvu kod triju različitih kultivara divljeg prosa. Sadeghpour i sur. (2014) su uspoređujući različite rokove žetve kroz tri sezone utvrdili da je prinos bio najviši u prvoj uzgojnoj sezoni u ljetnom roku žetve. Prosječno za sve tri sezone najviši prinosi su dobiveni u ljetnom roku žetve (6,28 t/ha ST), a zatim u jesenskom (6,09 t/ha ST) te proljetnom (5,02 t/ha ST). Seepaul i sur. (2014) navode da se smanjenjem broja žetava u sezoni dobiva viši prinos s manjim koncentracijama iznesenih nutrijenata, a pogotovo nakon mraza kada se dodatno smanji koncentracija nutrijenata u biljnom tkivu.

6.3. Miskantus

Potencijal prinosa biomase miskantusa može se vjerno prikazati na temelju prinosa treće ili daljnjih godina uzgoja nasada. Za gustoću izbojaka u godini zasnivanja utvrđena je uska povezanost s prinosima u prvoj i daljnjim godinama uzgoja nasada (Lesur-Dumoulin i sur., 2016). Battaglia i sur. (2019) su utvrdili pozitivnu korelaciju između prinosa biomase i broja izbojaka u istraživanju provedenom na tri kultivara miskantusa. U četvrtoj godini uzgoja utvrđeno je prosječno 45,4; u petoj godini 62; a u šestoj 56,3 izbojaka po biljci. Clifton-Brown i sur. (2002) su dobili prinose od 4,0 t/ha ST u prvoj sezoni uzgoja i 13,7 t/ha ST u drugoj sezoni na lokaciji Kansas (Sjedinjene Američke Države), na drugoj lokaciji u Kansasu 2,7 i 11,8 t/ha ST za prvu i drugu sezonu uzgoja. Heaton i sur. (2008) su zabilježili prosječne prinose od treće, četvrte i pete sezone na tri lokacije u Illinoisu (Sjedinjene Američke Države) koji iznose 20,9; 33,4 i 34,6 t/ha ST. U hladnijim područjima Engleske na dvije lokacije utvrđeno je da se prinos povećavao prvih pet godina uzgoja (Christian i sur., 2008; Clifton-Brown i sur., 2007), dok su Clifton-Brown i sur. (2001.) u toplijim krajevima utvrdili vršne prinose već u drugoj ili trećoj sezoni. Wang i sur. (2022) su kroz poljski pokus u Beijingu (Kina) koji je trajao tri godine (2013. – 2015.) dobili najveći broj izbojaka u trećoj godini uzgoja kao i najviši potencijal prinosa od 42,3 t/ha ST. Kim i sur. (2010) su zabilježili da je visina biljaka u šestoj godini nasada zasnovanog rizomima iznosila prosječno 3,37 metara, dok je za biljke uzgojene in vitro u trećoj godini zabilježena prosječna visina od 3,68 metara.

Istraživanje koje su proveli Maksimović i sur. (2016) u blizini Beograda (Srbija) pokazalo je utjecaj gustoće sadnje na prinos biomase i zakorovljenost nasada miskantusa. Zakorovljenost nasada je bila veća u nasadu zasnovanom s 2 rizoma po kvadratnom metru u odnosu na nasad gustoće 3 rizoma po m². Pokazalo se da je zakorovljenost bila veća na tlu bolje kvalitete (černozem) u ranijim godinama nasada. Prinos biomase u trećoj godini uzgoja iznosio je 18,60 i 7,66 t/ha ST za gustoće od 2 i 3 rizoma po m² na tipu tla černozem dok je na glejosolu iznosio 10,33 i 13,50 t/ha ST za 2 i 3 rizoma po m². U trećoj godini zakorovljenost je bila viša kod glejosola. Atkinson (2009) navodi da uspoređujući gustoće nasada od 10 000 do

40 000 biljaka po hektaru, više prinose daju nasadi s većom gustoćom biljaka. S druge strane Ouattara i sur. (2020) izvješćuju da gustoća nasada u Francuskoj nije utjecala na maksimalne prinose biomase, isto navode i Lesuer i sur. (2013). Prčík i Kotrla (2016) su na području Slovačke na teškom tlu (fluvisol) s gustoćom od 10 000 biljaka po hektaru dobili prinos od 30,9 t/ha ST u petoj uzgojnoj sezoni.

Različite metode propagacije miskantusa daju različite rezultate pa tako Lewandowski (1998) navodi da biljke dobivene mikropropagacijom razviju više izbojaka od onih zasnovanih rizomima, ali da mikropropagirane biljke imaju tanje i niže stabljike u godini zasnivanja. Boersma (2013) nije uočio značajne razlike u debljini stabljika između ove dvije metode, ali je kod visine stabiljaka. Boersma (2013) također navodi da metoda propagacije nije utjecala na prinos biomase u drugoj i trećoj godini uzgoja na tri različite lokacije u SAD-u. Grubišova i sur. (2019) na temelju svojeg istraživanja zaključuju da metoda propagacije može imati utjecaj na prinos i sastavnice prinosa miskantusa, ali da veći utjecaj imaju godina uzgoja i vremenski uvjeti. Danalatos i sur. (2007) u Grčkoj su utvrdili prosječnu visinu od 2,33 metara u četvrtoj, a 3,23 metara u petoj godini nasada. U četvrtoj sezoni je zabilježeno prosječno 79,48 izbojaka po biljci, a u petoj 86,24 izbojaka po biljci.

Maughan i sur. (2012) su usporedili utjecaj različitih količina dodanog dušika na prinos i sastavnice prinosa miskantusa na tri lokacije u SAD-u na tlima koja su okarakterizirana kao ilovasta. Nasad je zasnovan 2008. godine s gustoćom od jednog rizoma po m². Za visinu biljke se uspostavilo da više ovisi o okolišnim uvjetima nego li o dodanom dušiku, a kretala se u rasponu od 3 do 3,79 metara. Slični rezultati su dobiveni i za prinos i broj izbojaka. Prosječan broj izbojaka kod kontrole iznosio je 50,32 po m². Uvjeti okoliša su pokazali najveći utjecaj, a uočena je snažna pozitivna korelacija između visine i broja izbojaka i prinosa biomase. Jeżowski i sur. (2017) su u Njemačkoj u trećoj godini nasada utvrdili prosječnu visinu od 210,61 ± 9,14 cm kod gnojidbenih tretmana (kanalizacijski mulj, mulj + mineralno gnojivo u različitim dozama) i 179,33 cm kod kontrole. Također, više izboja (46,16 ± 4,27 po biljci) je zabilježeno kod gnojidbenih tretmana nego li kod kontrole (31,33 po biljci).

Acaroglu i Aksoy (2005) uspoređujući prinose gnojidbe s 0, 50, 100, 150 i 200 kg N/ha u Turskoj zaključuju da najvišim prinosima rezultira gnojidba s 100 kg N/ha. Kod te količine dodanog dušika prinosi su bili najviši u sve tri proučavane sezone od zasnivanja nasada. Iznosili su 1,64; 7,17 i 13,19 t/ha ST za prvu, drugu i treću sezonu. Veće količine dodanog dušika rezultirale su padom prinosa biomase. Ercoli i sur. (1999) na pokusnom polju u Pisi (Italija) s 40 000 biljaka po hektaru uz navodnjavanje zabilježili su prinos od 37,5 t/ha ST u trećoj godini uzgoja uz gnojidbu od 200 kg N/ha. Heaton i sur. (2008) su u Illinoisu (SAD) postigli prinose u prosjeku od 30 t/ha ST bez navodnjavanja i s gnojidbom od 25 kg N/ha po sezoni.

Tablica 6.1. Prinosi energetskih kultura navedenih istraživanja.

Kultura	Autor	Prinos ST t/ha– godina uzgoja					Broj biljaka po hektaru
		1.	2.	3.	4.	5.	
<i>Sida hermaphrodita</i>	Facciotto i sur., 2018.	0,4 – 6,6					
	Borkowska i sur., 2009.				11,08		
	Szemplinski i sur., 2017.		11,2				35 000
	Borkowska i Molas, 2012.		15,31		22,63		40 800
	Jablonowski i sur., 2020.		10,3; 12,2; 17,0	9,6; 13,9; 14,3			10 000; 20 000; 40 000
	Papamatthaiakis i sur., 2021.			16,72			6 650
<i>Panicum virgatum</i>	Sharma i sur., 2003.		1,71- 14,62	5,63- 26,08	3,30- 21,83		
	Wulschlager i sur., 2010.					>20	
	Virgilio i sur., 2006.	2,3 – 14,6	3,7 – 24,4				
	Taranenko i sur., 2019.			11,2- 12,9	12,2- 13,2	13,0- 14,9	
	Sadeghpour i sur., 2014.	7,28	5,53	5,49			
<i>Miscanthus x giganteus</i>	Clifton-Brown i sur., 2002.	2,7; 4,0	11,8; 13,7				
	Heaton i sur., 2008.			20,9	33,4	34,6	
	Wang i sur., 2022.			42,3			
	Maksimović i sur., 2016.			7,66- 18,6			20 000- 30 000
	Prčík i Kotrla, 2016.	11,1	18,1	27,1	30,3	30,9	10 000
	Acaroglu i Aksoy, 2005.	1,64	7,17	13,19			
	Ercoli i sur., 1999.			37,5			40 000

7. Agroekološki uvjeti u Republici Hrvatskoj

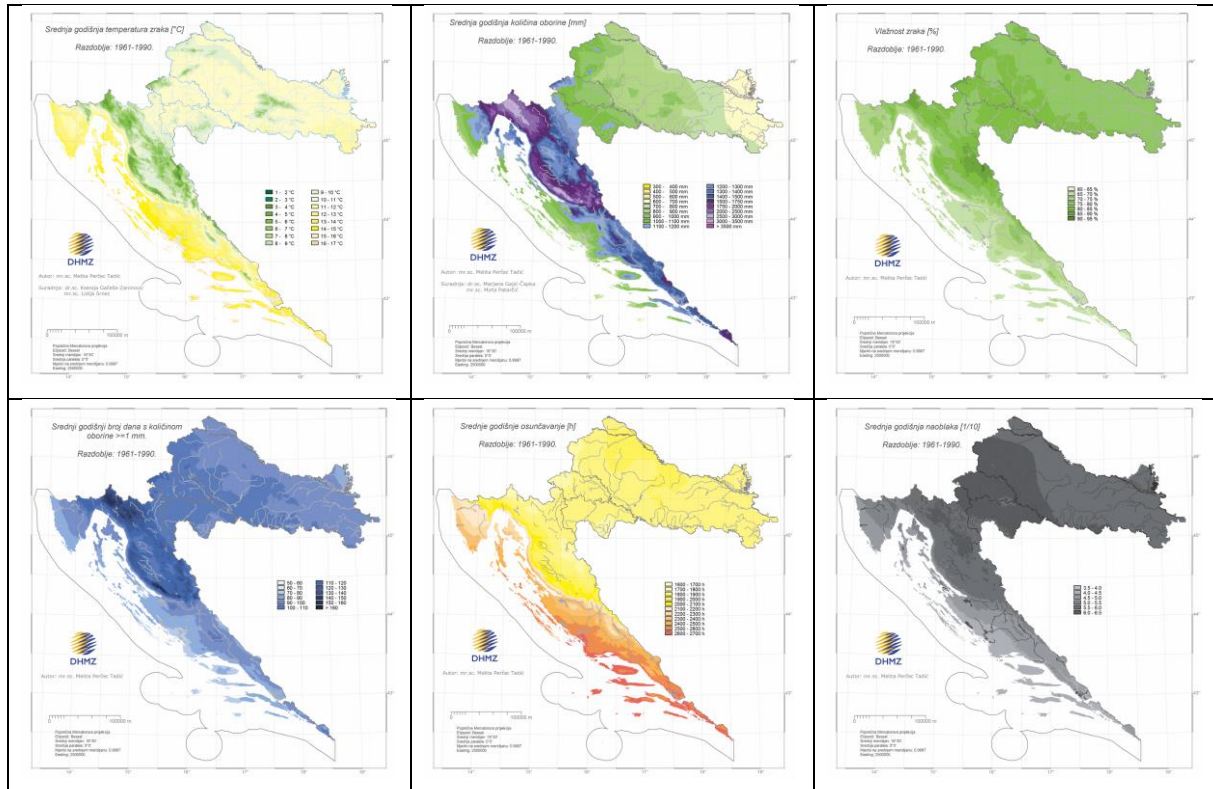
7.1. Klima

Prema Gajić-Čapka i Zaninović (2008) klimu Hrvatske određuje njezin položaj, a najvažniji modifikatori klime su Jadransko i šire Sredozemno more, orografija Dinarida, otvorenost sjeveroistočnih krajeva prema Panonskoj ravnici, te raznolikost biljnog pokrova. Prema Klimatskom atlasu Hrvatske (Zaninović i sur., 2008), kontinentalna Hrvatska ima umjereno kontinentalnu klimu i cijele godine je stanje atmosfere vrlo promjenjivo: obilježeno je raznolikošću vremenskih situacija uz česte i intenzivne promjene tijekom godine. Klima kontinentalnog dijela Hrvatske modificirana je maritimnim utjecajem sa Sredozemlja i orografijom (Medvednica, gore u Hrvatskom Zagorju i oko Požeške kotline). Zimi prevladavaju tipovi vremena s čestom maglom ili niskim oblacima, te s vrlo slabim strujanjem. Za proljeće su karakteristične česte i nagle promjene vremena, izmjenjuju se oborinska razdoblja s bezoborinskima, tiha s vjetrovitima, hladnija s toplijima. Ljeti su barička polja s malim gradijentom tlaka i osvježavajućim noćnim povjetarcem niz gorske obronke isprekidana prolascima hladne fronte koja dovodi svjež zrak s Atlantika. Za jesen su karakteristična razdoblja mirna anticiklonalnog vremena, ali i kišoviti dani u ciklonama koje prelaze baš preko RH. Anticiklonalno vrijeme se u ranoj jeseni odlikuje toplim i sunčanim danima i svježim noćima s obilnom rosom, a u kasnoj jeseni je za anticiklone hladno, maglovito i tmurno. Na višim nadmorskim visinama dinarskih planina u Gorskom kotaru, Lici i dalmatinskom zaleđu prisutna je planinska klima koja se razlikuje od šireg područja prvenstveno po temperaturnom i snježnom režimu.

Primorska Hrvatska nalazi se veći dio godine također u cirkulacijskom području umjerenih širina, s čestim i intenzivnim promjenama vremena. Jedan od najvažnijih modifikatora klime tog područja jest more, pa se ona može nazvati primorskom.

Prema Köppenovoj klasifikaciji klime, koja uvažava bitne odlike srednjeg godišnjeg hoda temperature zraka i količine oborine, najveći dio Hrvatske pripada umjereno toploj kišnoj klimi sa srednjom mjesečnom temperaturom najhladnijeg mjeseca višom od -3°C i nižom od 18°C . Samo najviša planinska područja ($> 1\ 200$ m nadmorske visine) imaju snježno-šumsku klimu oznake D sa srednjom temperaturom najhladnijeg mjeseca nižom od -3°C . U unutrašnjosti najtopliji mjesec u godini ima srednju temperaturu nižu od 22°C (oznaka b), u priobalnom području višu od 22°C (oznaka a), a više od četiri mjeseca u godini imaju srednju mjesečnu temperaturu višu od 10°C . Nizinski kontinentalni dio Hrvatske nema izrazito suhih mjeseci, a mjesec s najmanje oborine u hladnom je dijelu godine. U godišnjem hodu oborine javljaju se dva maksimuma. Lika i Gorski kotar, viši dijelovi Istre i vršni dijelovi planina (viši od 1200 m nm) nemaju sušnih razdoblja, najviše oborine padne u hladnom dijelu godine, a zimsko je kišno razdoblje široko rascijepano u jesensko-zimski i proljetni maksimum. Na otocima i na obalnom području srednjeg i južnog Jadrana prevladava klima masline, u kojoj je suho razdoblje u toplom dijelu godine, najsuši mjesec ima manje od 40 mm oborine i manje od trećine najkišovitijeg mjeseca u hladnom dijelu godine, a u većem dijelu toga područja također se javljaju dva maksimuma oborine. Prema Thornthwaiteovoj klasifikaciji klime baziranoj na

odnosu količine vode potrebne za potencijalnu evapotranspiraciju i oborinske vode – postoji pet tipova klime, od perhumidne do aridne klime. U Hrvatskoj se javljaju perhumidna, humidna i subhumidna klima. U najvećem dijelu nizinskog kontinentalnog dijela Hrvatske prevladava humidna klima, a samo u istočnoj Slavoniji subhumidna klima. U gorskom području prevladava perhumidna klima. U primorskoj Hrvatskoj pojavljuju se perhumidna, humidna i subhumidna klima. Srednje godišnje vrijednosti važnijih klimatskih elemenata na području RH prikazani su na Slici 7.1.1.

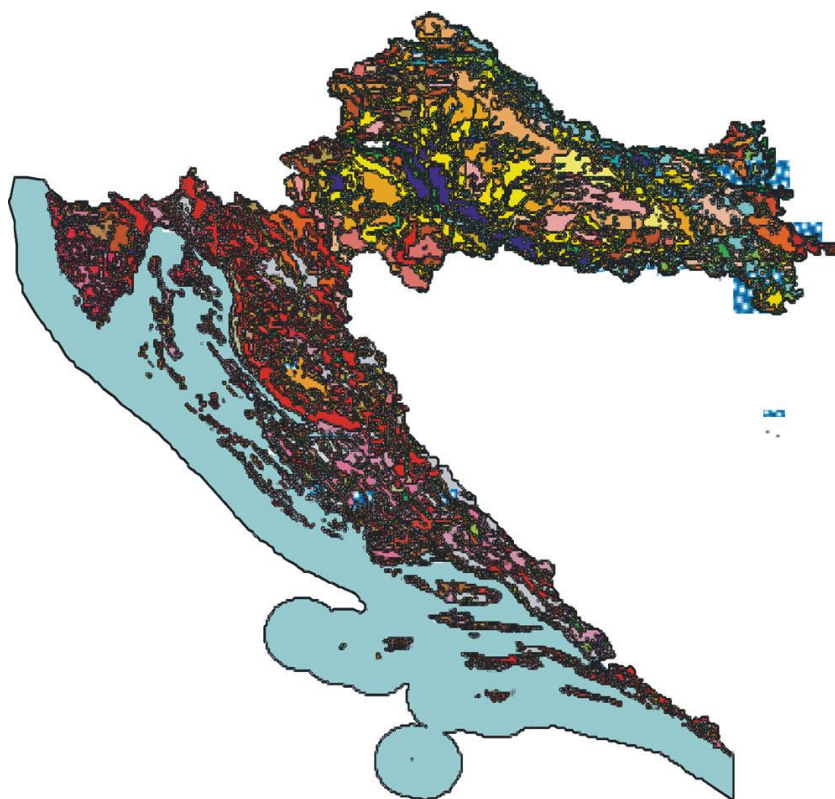


Slika 7.1.1. Srednje vrijednosti određenih klimatskih elemenata na području RH

(Izvor: Zaninović i sur., 2008)

7.2. Tlo

Glavni elementi plodnosti tla su sorpcijska sposobnost tla za hranjiva i količina fiziološki aktivnih hranjiva, reakcija (pH - vrijednost) tla, sadržaj i oblik humusa, struktura tla, te kapacitet tla za vodu i zrak odnosno plodnost tla karakteriziraju njegova kemijska, fizikalna i biološka svojstva. Hrvatska ima veliku raznolikost strukture pedosfere koja je nastala kao posljedica vrlo složenih faktora pedogeneze (Slika 7.2.1.). Međutim, u strukturi dominira nekoliko vrsta tala. Najzastupljenija tla uključuju dvanaest pedosustavnih jedinica čija je prisutnost veća od 2% teritorija i osam pedosustavnih jedinica s prisutnošću manjom od 2%. Najzastupljenije tlo je luvisol, a slijede ga pseudoglejna i glejna tla (Bašić, 2013).



Slika 7.2.1. Pedološka karta RH (Izvor: Bašić, 2013)

8. Istraživanja u Republici Hrvatskoj

8.1. Virdžinijski sljez

8.1.1. Lokacija uzgoja Maksimir

Pokusno polje Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu nalazi se na lokaciji Maksimir u gradu Zagrebu (123 mnv, 45°49'048" N 16°01'019" E). Nasad je postavljen u proljeće 2017. godine ručnom sadnjom (Slika 8.1.1.3 i 8.1.1.4.) presadnica s grudom supstrata (Slika 8.1.1.1. i 8.1.1.2.) na razmak od 0,75 m unutar i između redova. Posađeno je ukupno 12 parcelica čija površina iznosi 8,44 m². Na Slikama 8.1.1.5., 8.1.1.6., 8.1.1.7., 8.1.1.8. prikazan je nasad u različitim stadijima i godinama uzgoja.



Slika 8.1.1.1. Presadnica virdžinijskog sljeza
(autor: J. Leto)



Slika 8.1.1.2. Presadnice virdžinijskog sljeza
(autor: J. Leto)



Slika 8.1.1.3. Ručna sadnja
(autor: N. Bilandžija)



Slika 8.1.1.4. Ručna sadnja
(autor: J. Leto)

Slika 8.1.1.5. Nasad u ljeto 2017 (autor: J. Leto)	Slika 8.1.1.6. Nasad u proljeće 2019. (autor: J. Leto)
Slika 8.1.1.7. Nasad u ljeto 2020. (autor: J. Leto)	Slika 8.1.1.8. Nasad u jesen 2020. (autor: J. Leto)

- *Dosadašnja istraživanja*

Pavleković (2019) provodi poljska mjerenja prinosa i sastavnica prinosa nakon druge vegetacijske sezone 2018./2019. Mjerenja su provedena u jesenskom i proljetnom roku žetve. Prosječna visina biljaka na kraje vegetacijske sezone iznosila je 2,54 m, prosječan broj izboja 20 po m², a broj izboja po biljci 11,2. Prinos jesenske žetve (8,77 t/ha ST) bio je značajno viši u odnosu na prinos prezimljenog nasada (6,18 t/ha ST), ali je došlo do značajnog rasta udjela suhe tvari (86,64 %).

Medvedec (2020) i Šurić i sur. (2022) istražuju utjecaj aplikacije otpadnog mulja na prinos i sastavnice prinosa virdžinijskog sljeza nakon treće godine strosti nasada (2019./2020.). Provedeni su tretmani u 4 različite doze (0 t/ha - kontrola; 1,66 t/ha ST; 3,32 t/ha ST; 6,64 t/ha ST). Prosječan prinos suhe tvari između tretmana iznosio je 12,15 t/ha ST, a gnojidbeni

tretmani su u jesenskom roku žetve utjecali na prinosu ST. Prosječan broj izboja iznosio je 11,72 izboja po m², navodi se da utvrđene razlike nisu značajne kao ni razlike u visini biljaka. Dio nasada je ostavljen da prezimi, te je potom provedena proljetna žetva u ožujaku 2020. godine. Nisu zabilježene značajne razlike utvrđenih prinosa između tretmana otpadnim muljem. Prosječan prinos iznosi 7,51 t/ha ST što je značajno smanjenje u odnosu na prinos žetve u jesenskom roku. Kod biomase uzorkovane u proljetnom roku došlo je značajnog rasta udjela suhe tvari uslijed prirodnog sušenja. Udio suhe tvari je bio prosječno 142,91% veći u odnosu na jesensku žetvu.

U Tablici 8.1.1.1. prikazane su prosječne vrijednosti kontrolnih varijanti pokusnog polja.

Tablica 8.1.1.1. Prinos i sastavnice prinosa nasada virdžinijskog sljeza na lokaciji Maksimir

Uzorkovanje	Jesenska sezona žetve		Proljetna sezona žetve		Sastavnice prinosa		
	Prinos ST (t/ha)	Udio ST (%)	Prinos ST (t/ha)	Udio ST (%)	Visina biljaka (m)	Broj izbojaka	Literatura
II (2018./2019.)	8,77	64,11	6,18	86,64	2,54	11,20	Pavleković, 2019.
III (2019./2020.)	9,52	55,04	6,53	76,87	3,12	11,00	Medvedec, 2020. Šurić i sur., 2022.
IV (2020./2021.)	9,10	50,76	7,54	87,24	2,45	15,60	Voća, 2022.

8.2. Divlje proso

8.2.1. Lokacija uzgoja Šašinovec

Pokušalište Agronomskog fakulteta Šašinovec nalazi se u istočnom dijelu grada Zagreba (mnv 119, N 45° 51' 01.32"; E 16 ° 10' 35.85"). Nasad je zasnovan 22. travnja 2016. godine. Pokusno polje je podijeljeno na 12 parcela površina po 19,2 m², dok ukupna površina iznosi 485 m². Za potrebe pokusa iskorišteno je 20 kg/ha sjemena (Slika 8.2.1.1.) koje je posijano sijačicom (Slika 8.2.1.2.) u redove međusobno udaljene 12 cm. Na Slikama 8.2.1.3. i 8.2.1.4. prikazan je nasad u različitim stadijima uzgoja.

	
Slika 8.2.1.1. Sjeme (autor: N. Bilandžija)	Slika 8.2.1.2. Mehanizirana sjetva (autor: J. Leto)
	
Slika 8.2.1.3. Nasad u ljeto 2020. (autor: N. Bilandžija)	Slika 8.2.1.4. Nasad u proljeće 2020. (autor: J. Leto)

- *Dosadašnja istraživanja*

Kralj (2019) nakon treće vegetacijske sezone nasada utvrđuje jesenski i proljetni prinos suhe tvari te visinu biljaka. Prosječna visina biljaka iznosila je 2,25 metara, a utvrđena je i korelacija između visine biljaka i prinosa biomase u jesenskom roku žetve. Prosječni jesenski prinos suhe tvari iznosio je 19,08 t/ha ST što je 30,5% viši prinos od proljetnog koji je iznosio 13,27 t/ha ST. Jesenski prinos suhe tvari je bio viši od proljetnog na svih 12 parcelica uključenih u navedeno istraživanje. Međutim, prosječan udio suhe tvari u proljetnoj žetvi iznosio je 89,22% što je značajno više od utvrđenih 38,91% za jesenski rok.

Radman (2020) istražuje utjecaj primjene pepela (0 - kontrola; 1,5 t/ha; 3 t/ha i 4,5 t/ha) i roka košnje na divlje proso nakon četvrte vegetacijske sezone. Provedena je žetva u jesen (studeni, 2019) i proljeće (ožujak, 2020). U jesenskom roku žetve zabilježen je prosječan prinos od 28,81 t/ha ST s prosječnom visinom biljaka od 2,35 metara. Navodi se da prinosi i visina biljke nisu značajno varirali između različitih tretmana pepelom. Prosječan prinos suhe tvari u proljetnoj žetvi iznosio je 23,08 t/ha ST, a udio suhe tvari se značajno povećao uslijed prirodnog sušenja biomase. Prinosi i udijeli suhe tvari se nisu značajno razlikovali između različitih tretmana gnojidbe pepelom.

U Tablici 8.2.1.1. prikazane su prosječne vrijednosti kontrolnih varijanti pokusnog polja.

Tablica 8.2.1.1. Prinos i visina stabljike divljeg prosa na lokaciji Šašinovec

Uzorkovanje	Jesenska sezona žetve		Proljetna sezona žetve		Sastavnica prinosa	Literatura
	Prinos ST (t/ha)	Udio ST (%)	Prinos ST (t/ha)	Udio ST (%)	Visina biljaka (m)	
III (2018./2019.)	19,08	38,91	13,27	89,22	2,25	Kralj, 2019
IV (2019./2020.)	27,94	35,90	23,11	87,01	2,23	Radman, 2020

8.3. Miskantus

8.3.1. Lokacija uzgoja Medvednica

Pokusno polje (površine 2000 m²) postavljeno je 2011. na lokaciji Centar za travnjaštvo Agronomskog fakulteta na Medvednici, Krapinsko zagorska županija (mnv 655 , N 45° 55' 37,2", E 15° 58' 24,4"). Reznice rizoma (Slika 8.3.1.1. i 8.3.1.2.) podrijetlom iz Austrije posađene su korištenjem adaptirane sadilice za gomolje krumpira (Slika 8.3.1.3. i 8.3.1.4.). Nasad je zasnovan temeljem sklopa od 10 000 rizoma po hektaru. Na Slikama 8.3.1.5., 8.3.1.6., 8.3.1.7., 8.3.1.8. prikazan je nasad u različitim vegetacijskim godinama.



Slika 8.3.1.1. Vreće s rizomima
(autor: J. Leto)



Slika 8.3.1.2. Reznice rizoma
(autor: J. Leto)



Slika 8.3.1.3. Poluautomatska sadilica
(autor: N. Bilandžija)



Slika 8.3.1.4. Poluautomatska sadilica
(autor: N. Bilandžija)

	
Slika 8.3.1.5. Nasad u ljeto 2011. (autor: J. Leto)	Slika 8.3.1.6. Nasad u zimu 2014. (autor: J. Leto)
	
Slika 8.3.1.7. Nasad u ljeto 2020. (autor: J. Leto)	Slika 8.3.1.8. Nasad u proljeće 2022. (autor: J. Leto)

- Dosadašnja istraživanja*

Na lokaciji Medvednica pokusno polje je 2011. godine postavljeno kao dvofaktorijski pokus po split-plot shemi u tri ponavljanja. Glavni faktor istraživanja je gnojdba ($N_0P_0K_0$ - bez unošenja hraniva i $N_{60}P_{60}K_{90}$ - 60 kg N, 60 kg P_2O_5 i 90 K_2O), a podfaktor rokovi žetve (jesenski, zimski i proljetni) (Bilandžija, 2015). Autori Leto i Bilandžija (2013), Bilandžija (2015) i Leto i sur. (2016) istražuju prinos i sasavnice prinosa u prvoj godini uzgoja koji u prosjeku iznosi 2,26 t ST/ha. Sever (2013) nakon dvije sezone bilježi prinos suhe tvari od 16,97 t/ha u jesenskom

roku žetve. U drugoj godini nasada Stojanović (2013) utvrđuje zimski prinos suhe tvari od 9,35 t/ha. Hudek (2014) u trećoj godini starosti nasada utvrđuje prosječan prinos od 25,08 t/ha ST.

Skočibušić (2017) je u svom istraživanju utvrđuje prinos i sastavnice prinosa miskantusa kroz razdoblje od 4 godine. Zabilježen je rast prinosa kroz godine unatoč manjim količinama oborina od višegodišnjeg prosjeka kroz prve tri godine uzgoja, dok je u četvrtoj godini palo 46,4% više oborina od višegodišnjeg prosjeka. Nakon završetka četvrte vegetacijske sezone zabilježen je prinos od 41,54 t/ha ST u jesenskom roku žetve dok je u proljetnom roku žetve zabilježen prinos od 25,6 t/ha ST. Rast prinosa kroz godine prate i rast visine biljaka te rast broja izbojaka po m².

Usporedbu između tri različita roka žetva istražuje je Lončarić (2016) nakon treće vegetacijske sezone. U jesenskom roku žetve zabilježen je prinos od 24,29 t/ha ST zimskom 19,88 t/ha ST, dok je proljetnom roku iznosio 15,24

Utjecaj organske gnojidbe na morfološka i gospodarska svojstva miskantusa istražuje Stuburić (2015). Istraživanje je obuhvatilo tri različite količine krutog goveđeg stajskog gnoja (10, 20, 30 t/ha/god) i dvije razine gnojidbe mineralnim gnojivima (50 i 100 kg N/ha/god). Nakon četvrte vegetacijske sezone (2014) utvrđeni prinosi u jesenskom roku žetve kretali su se u rasponu od 37,88 do 44,62 t/ha ST. Kod proljetne žetve prinosi su bili u rasponu od 21,90 do 28,51 t/ha ST. Kod oba roka žetve najviši prinos je zabilježen kod doze mineralnog gnojiva od 50 kg N/ha, ali razlike u prinosima između različitih gnojidbenih tretmana nisu okarakterizirane kao statistički značajne. Vegetacijsko razdoblje 2014. godine bilo je 1,9 °C toplije od prosjeka, a količina oborina bila je viša od višegodišnjeg prosjeka. Nastavak istraživanja s istim količinama i vrstama gnojiva proveo je Savković (2016), nakon pete vegetacijske sezone nasada (2015). Temperatura je 2015. godine bila za 2 °C viša od prosjeka, a oborina je bilo značajno više od višegodišnjeg prosjeka. Jesenski prinos suhe tvari bio je u rasponu od 33,70 do 38,41 t/ha. Proljetni prinosi u rasponu od 22,04 do 25,12 t/ha ST. Gnojidba različitim količinama i vrstama gnojiva nije značajno utjecala na jesenski i proljetni prinos te visinu biljaka i broj izbojaka po m².

Istraživanje o utjecaju mulja otpadnih voda na produkciju biomase miskantusa provodi Vugrin (2021). Jesenski prinos kretao se u rasponu od 38,08 do 40,28 t/ha ST, a proljetni u od 20,42 do 20,81 t/ha ST. Udio suhe tvari u biomasi tijekom jesenskog roka žetve iznosio je prosječno 40,52 %, dok je u proljeće utvrđen prosječan udio od 85,15 %.

U Tablici 8.3.1.1. prikazane su prosječne vrijednosti kontrolnih varijanti pokusnog polja.

Tablica 8.3.1.1. Prinosi i sastavnice prinosa nasada miskantusa na lokaciji Medvednica

Uzorkovanje	Jesenska sezona žetve		Zimska sezona žetve		Proljetna sezona žetve		Sastavnice prinosa		
Godina starosti / veg. sezona	Prinos ST (t/ha)	Udio ST (%)	Prinos ST (t/ha)	Udio ST (%)	Prinos ST (t/ha)	Udio ST (%)	Visina biljaka (m)	Broj izbojaka	Izvor literature
I (2011./2012.)	1,76 - 2,37	-		-	1,23	-	1,51 - 1,54	11,87 - 12,07	Leto i Bilandžija, 2013. Bilandžija, 2015. Skočibušić, 2015. Leto i sur., 2016.
II (2012./2013.)	16,84 - 17,95	-	9,35	-	8,37	-	2,22 – 2,52	29,77 - 30,86	Sever, 2013. Stojanović, 2013. Leto i sur., 2014. Bilandžija, 2015. Skočibušić, 2015. Leto i sur., 2016.
III (2013./2014.)	24,29 - 25,40	-	19,88	-	15,24 - 15,60	-	2,84 - 3,35	44,13 - 46,61	Hudek, 2014. Bilandžija, 2015. Skočibušić, 2015. Leto i sur., 2015. Lončarić, 2016. Leto i sur., 2016.
IV (2014./2015.)	40,09 - 41,54	46,72	-	-	25,60 - 27,06	80,88	3,38 - 3,45	52,30 - 54,53	Skočibušić, 2015. Leto i sur., 2016. Bilandžija, 2018.
V (2015./2016.)	36,03		-	-	23,61	-	3,35	53,50	Savković, 2016.
IX (2019./2020.)	38,26	40,31	-	-	20,42	85,08	2,80	79,42	Vugrin, 2021. Leto i sur., 2021.
X (2020./2021.)	42,70	47,50	-	-	28,37	85,88	3,56	74,50	Voća, 2022.

8.3.2. Lokacija uzgoja Donja Bistra

Pokusno polje površine 2500 m² u Donjoj Bistri (mnv 144, N 45° 55' 06,2"; E 15° 50' 32,5") posađeno je 2011. korištenjem identičnog sadnog materijala i mehanizacije kao i u slučaju pokusnog polja na lokaciji Medvednica. Pokusno polje je zasnovano s gustoćom sklopa od 10 000 rizoma po hektaru.

Na Slikama 8.3.2.1., 8.3.2.2., 8.3.2.3., 8.3.2.4. prikazan je nasad u različitim stadijima i godinama uzgoja.



Slika 8.3.2.1. Pokusno polje u ljeto 2011.
(autor: J. Leto)



Slika 8.3.2.2. Pokusno polje u ljeto 2012.
(autor: N. Bilandžija)



Slika 8.3.2.3. Pokusno polje u jesen 2012.
(autor: J. Leto)



Slika 8.3.2.4. Pokusno polje u jesen 2013.
(autor: N. Bilandžija)

- *Dosadašnja istraživanja*

Na lokaciji Donja Bistra pokusno polje je 2011. godine postavljeno kao temeljem identičnih faktora kao i na primjeru pokusnog polja na Medvednici (Bilandžija, 2015). Autori Leto i Bilandžija, (2013), Bilandžija, (2015), Skočibušić, (2015) te Leto, (2016) utvrđuju prinos i sastavnice prinosa u prvoj godini uzgoja. Dinamiku rasta miskantusa u drugoj godini uzgoja na lokaciji Donja Bistra prati Dvorneković (2012) te utvrđuje početak nicanja s datumom 15. travnja 2012. godine. U promatranoj godini vladala je velika suša, a prosječna visina na kraju vegetacijske sezone (14. rujna 2012.) iznosila je 296 cm. Prinos suhe tvari od 20,13 t/ha zabilježio je Sever (2013) u jesenskom roku žetve dvogodišnjeg nasada., dok u zimskom roku žetve Stojanović (2013) utvrđuje prinos suhe tvari od 10,63 t/ha. U godini mjerenja prinosa (2012) bilo je za 1,9 °C toplije od prosjeka, a oborina je bilo za 5,6% manje od višegodišnjeg prosjeka. U trećoj godini starosti nasada Hudek (2014) bilježi prinos od 30,81 t/ha ST u ožujku 2013. godine. U promatranoj godini temperature su bile više od prosječnih, a oborina je bilo manje od višegodišnjeg prosjeka.

Prinose jesenske, zimske i proljetne žetve utvrdio je Lončarić (2016) na nasadu miskantusa nakon treće vegetacijske sezone. Vegetacijsko razdoblje 2013. godine bilo je toplije od prosjeka za 1,5 °C, a oborina je bila manje od višegodišnjeg prosjeka. U jesenskom roku žetve zabilježen je prinos od 30,88 t/ha ST, zimskom 19,88 t/ha ST te u proljetnom 15,24 t/ha ST.

Skočibušić (2017) navodi prinose i sastavnice prinosa miskantusa tijekom četiri godine uzgoja. U četvrtoj godini palo je 46,4% više oborina od višegodišnjeg prosjeka. Nakon završetka četvrte vegetacijske sezone zabilježen je prinos od 40,41 t/ha ST u jesenskom roku žetve dok je u proljetnom roku žetve zabilježen prinos od 23,44 t/ha ST. Prinos, visina biljaka i broj izboja po m² kontinuirano su rasli kroz godine promatranog razdoblja.

U Tablici 8.3.2.1. prikazane su prosječne vrijednosti kontrolnih varijanti pokusnog polja.

Tablica 8.3.2.1. Prinosi i sastavnice prinosa nasada miskantusa na lokaciji Donja Bistra

Uzorkovanje	Jesenska sezona žetve		Zimska sezona žetve		Proljetna sezona žetve		Sastavnice prinosa		
Godina starosti / veg. sezona	Prinos ST (t/ha)	Udio ST (%)	Prinos ST (t/ha)	Udio ST (%)	Prinos ST (t/ha)	Udio ST (%)	Visina biljaka (m)	Broj izbojaka	Izvor literature
I (2011./2012.)	1,77 - 2,33	-	-	-	1,40	-	1,65 -1,70	12.88 - 13,68	Leto i Bilandžija, 2013. Skočibušić, 2015. Leto i sur., 2016.
II (2012./2013.)	17,64 - 20,30	-	10,63	-	9,70	-	3,38 -3,56	29,63 - 31,00	Sever, 2013 Stojanović, 2013. Leto i sur., 2014. Skočibušić, 2015. Leto i sur., 2016.
III (2013./2014.)	25,19 - 30,88	-	21,37	-	14,51 - 14,62	-	3,25 - 3,28	49,20 - 55,26	Hudek, 2014. Skočibušić, 2015. Bilandžija, 2015. Leto i sur., 2015. Leto i sur., 2016. Lončarić, 2016.
IV (2014./2015.)	40,41	-	-	-	23,44	-	3,89	62,38	Skočibušić, 2015. Leto i sur., 2016.

8.3.3. Lokacija uzgoja Ličko Petrovo Selo

Pokusno polje (1500 m²) u Ličkom Petrovom Selu (nvm 352, N 44° 52' 01,8"; E 15° 43' 29,4") posađeno je 2011. godine. Provedeni su istovjetni agrotehnički zahvati kao i na lokacijama Medvednica i Donja Bista. Na Slikama 8.3.3.1., 8.3.3.2., 8.3.3.3., 8.3.3.4. prikazan je nasad u različitim vegetacijskim godinama.



Slika 8.3.3.1. Pokusno polje u jesen 2011.
(autor: J. Leto)



Slika 8.3.3.2. Pokusno polje u zimu 2016.
(autor: J. Leto)



Slika 8.3.3.3. Pokusno polje u proljeće 2018.
(autor: J. Leto)



Slika 8.3.3.4. Pokusno polje u ljeto 2020.
(autor: N. Bilandžija)

- *Dosadašnja istraživanja*

Na lokaciji Ličko Petrovo Selo autori Leto i Bilandžija (2013), Leto i sur., (2014), Leto i sur., (2015) prate prinos i sastavnice nakon prve, druge i treće vegetacijske sezone nasada, redom. Skočibušić (2015) i Leto i sur. (2016) utvrđuju prinos i sastavnice prinosa od prve do četvrte godine nasada tijekom jesenskog i proljetnog roka žetve. Proljetni prinos nakon u sedmoj godini starosti nasada utvrđuje Bilandžija (2019).

U Tablici 8.3.3.1. prikazane su prosječne vrijednosti kontrolnih varijanti pokusnog polja.

Tablica 8.3.3.1. Prinosi i sastavnice prinosa nasada miskantusa na lokaciji Ličko Petrovo Selo

Uzorkovanje	Jesenska sezona žetve		Proljetna sezona žetve		Sastavnice prinosa		Literatura
	Prinos ST (t/ha)	Udio ST (%)	Prinos ST (t/ha)	Udio ST (%)	Visina biljaka (m)	Broj izbojaka	
I (2011./2012.)	1,40 - 1,41	-	0,77	-	1,53 - 1,54	8,55 - 9,00	Leto i Bilandžija, 2013. Skočibušić, 2015. Leto i sur., 2016.
II (2012./2013.)	9,00	-	5,43	-	2,52	22,67 - 23,00	Leto i sur., 2014. Skočibušić, 2015. Leto i sur., 2016.
III (2013./2014.)	19,99 - 21,00	-	10,56	-	2,84 - 2,84	32,88 - 33,00	Leto i sur., 2015. Skočibušić, 2015. Leto i sur., 2016.
IV (2014./2015)	32,49	-	17,87	-	3,40	48,00	Skočibušić, 2015. Leto i sur., 2016.
VII (2018./2019)	-	-	15,25	-	-	-	Bilandžija i sur., 2019.

8.3.4. Lokacija uzgoja Šašinovec

Poljski pokus postavljen je na pokušalištu Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta u Šašinovcu, Zagrebačka županija (mnv 119, N 45° 51' 01.32"; E 16 ° 10' 35.85") 2016. godine po slučajnom bloknom rasporedu u 3 ponavljanja, ukupne površine 2.100 m². Kao sadni materijal korištene su reznice rizoma podrijetlom iz Engleske i Hrvatske te presadnice iz Poljske. Reznice rizoma (Slika 8.3.4.1.) su ručno posađene (Slika 8.3.4.2.) na razmak između i unutar redova od 1 m (10 000 rizoma/m²), na dubinu od 10 do 15 cm. Presadnice (Slika 8.3.4.3.) su posađene korištenjem adaptirane sadilice (Slika 8.3.4.4.) za presadnice povrća s grudom supstrata na razmak od 0,8 m između i unutar redova, pri tome čineći sklop od 1,5 presadnica/m².



Slika 8.3.4.1. Reznice rizoma
(autor: J. Leto)



Slika 8.3.4.2. Ručna sadnja rizoma
(autor: N. Bilandžija)



Slika 8.3.4.3. Presadnice
(autor: J. Leto)



Slika 8.3.4.4. Sadjnja sadilicom za presadnice
(autor: N. Bilandžija)

Slika 8.3.4.5. Nasad u ljeto 2018. (autor: N. Bilandžija)	Slika 8.3.4.6. Nasad u jesen 2018. (autor: J. Leto)
Slika 8.3.4.7. Nasad u proljeće 2020. (autor: J. Leto)	Slika 8.3.4.8. Nasad u zimu 2020. (autor: M. Grubor)

- Dosadašnja istraživanja*

Utjecaj različitog sadnog materijala i rokova žetve na prinos suhe tvari i sastavnice prinosa istražuje Rajić (2020). Za potrebe pokusa kao sadni materijal korišteni su rizomi iz Hrvatske i Engleske te s presadnice iz Poljske. Vrsta sadnog materijala utjecala je na prinos suhe tvari biomase u jesenskom i proljetnom roku žetve. Najviši prinos nakon treće vegetacijske sezone (2018) zabilježen je kod presadnica iz Poljske, a iznosio je 27,23 t/ha ST. Najviša visina biljaka zabilježena je kod rizoma iz Hrvatske (3,26 m), dok je najveći broj izboja po biljci zabilježen kod presadnica iz Poljske.

Utjecaj primjene pepela, dobivenog sagorijevanjem šumske biomase, na produktivnost miskantusa uzgojenog temeljem tri različita sadna materijala utvrđuje Gudeljević (2022).

Aplikacija pepela provedena je temeljem tri različite razine (0 t/ha - kontrola, 2 t/ha i 5 t/ha) na svaki sadni materijal. Prinosi su mjereni u četvrtoj godini starosti nasada u jesen i proljeće. Značajniji utjecaj tretmana pepelom utvrđen je samo za visinu biljaka. Najviša prosječna visina (3,27 m) zabilježena je kod rizoma iz Hrvatske, a najniža kod presadnica iz Poljske (2,83 m). Broj izboja kod rizoma iz Engleske iznosio je 89,3 po biljci, kod rizoma iz Hrvatske 62,4, a kod presadnica iz Poljske 60,8. Nije utvrđena povezanost između tretmana pepelom i prinosa suhe tvari u oba istraživana roka žetve. Najviši prinos je postignut s rizomima iz Engleske u jesenskom roku žetve (41,21 t/ha ST).

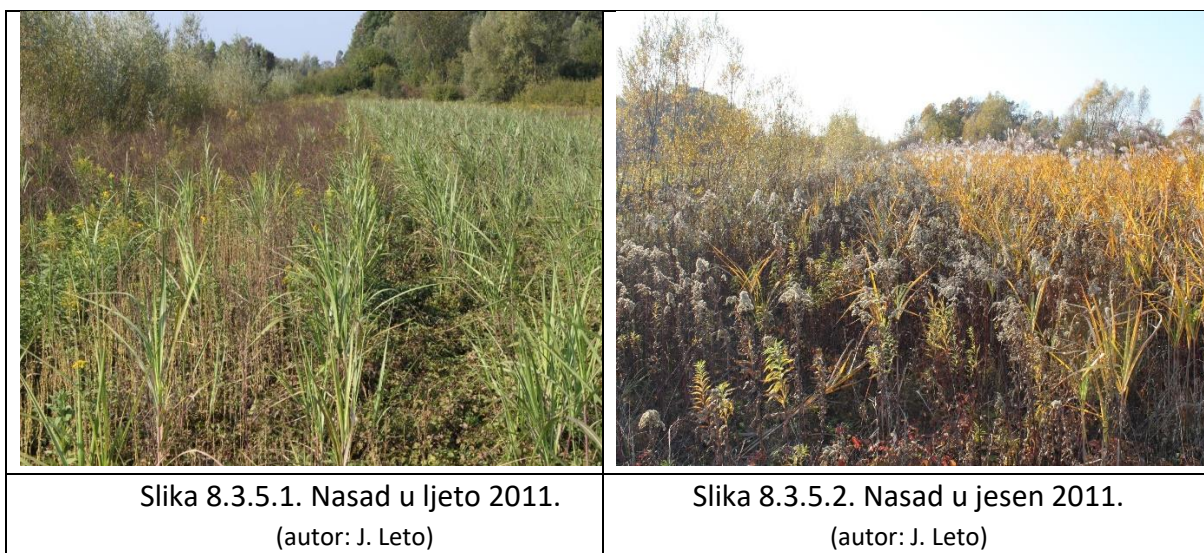
U Tablici 8.3.4.1. prikazane su prosječne vrijednosti kontrolnih varijanti pokusnog polja.

Tablica 8.3.4.1. Prinosi i sastavnice prinosa nasada miskantusa na lokaciji Šašinovec

Uzorkovanje	Jesenska sezona žetve		Proljetna sezona žetve		Sastavnice prinosa		
	Prinos ST (t/ha)	Udio ST (%)	Prinos ST (t/ha)	Udio ST (%)	Visina biljaka (m)	Broj izbojaka (biljka)	Literatura
III (2018./2019.)	21,35	47,59	9,17	89,71	3,26	36,04	Rajić, 2020.
IV (2019./2020.)	34,01	43,36	21,71	85,29	3,12	62,44	Bilandžija i sur., 2020. Gudeljević, 2022.

8.3.5. Lokacija uzgoja Zelina Breška

Pokusno polje u Zelini Breškoj (N 45° 42' 19,5"; E 16° 19' 47,0"; n.v. 99 m) posađeno je 2011. godine korištenjem rizoma na razmak sadnje 1 m², na površini od 1800 m². Leto i Bilandžija, (2013) i Leto i sur. (2014) istražuju prinos i sastavnice prinosa u prvoj i drugoj godini starosti nasada. Leto i sur. (2016) navode kako kombinacija herbicida Deherban (2,4-D) - 2,5 l/ha + Lontrel 300 (klopiralid) - 0,35 l/ha uspješno djeluje i poslije nicanja miskantusa, pa čak i kod fenofaze 7-9 listova odnosno od 50 do 75 cm visine miskantusa. Na Slikama 8.3.5.1. i 8.3.5.2. prikazan je nasad tijekom ljeta i jeseni u godini sadnje. Lijeva strana na obje slike prikazuje ne tretirani dio pokusnog polja dok desna strana prikazuje pokus nakon aplikacije herbicida. U Tablici 8.3.5.1. prikazane su vrijednosti s dijela pokusnog polja koji je bio tretiran herbicidima.



Tablica 8.3.5.1. Prinosi i sastavnice prinosa nasada miskantusa na lokaciji Šašinovec

Uzorkovanje	Jesenska sezona žetve		Sastavnice prinosa		Literatura
	Prinos ST (t/ha)	Udio ST (%)	Visina biljaka (m)	Broj izbojaka	
I (2011./2012.)	0,95	-	1,49	6,44	Leto i Bilandžija, 2013.
II (2012./2013.)	5,10	-	2,18	24,55	Leto i sur., 2014.

8.3.6. Lokacija uzgoja Donji Lapac

Pokusno polje u Donjem Lapcu (N 44° 32' 03,8"; E 15° 58' 31,1"; n.v. 565 m) posađeno je 2011. godine korištenjem rizoma i sklopa od jednog rizoma po m² na površini od 1000 m². Na Slikama 8.3.6.1. i 8.3.6.2. prikazan je nasad u različitim stadijima tijekom prve godine uzgoja. Leto i Bilandžija (2013) u na kraju vegetacijske sezone prve godine uzgoja utvrđuju prinos ST od 1,16 t/ha, uz prosječnu visinu biljke od 1,23 m i 10,50 izboja po m². Nakon nicanja, u drugoj vegetacijskoj sezoni, pokusno polje je uništeno jer su konji pobrstili mlade izboje.



Slika 8.3.6.1. Nasad u proljeće 2011.
(autor: J. Leto)



Slika 8.3.6.2. Nasad u ljeto 2011.
(autor: J. Leto)

8.3.7. Lokacija uzgoja Krbavsko polje - Udbina

Pokusno polje na Krbavskom polju kod Udbine (N 44° 36' 37,0"; E 15° 43' 29,4"; n.v. 645 m) oformljeno je 2011. sadnjom rizom na razmak 1m², površine 1500 m². Kao i u slučaju pokusnog polja u Donjem Lapcu nasad u potpunosti uništen.



Slika 8.3.7.1. Nasad u proljeće 2011.
(autor: J. Leto)



8.3.7.2. Nasad u jesen 2011.
(autor: J. Leto)

8.3.8. Lokacija uzgoja Sisak – Žažina

Pokusno polje na lokaciji Sisak – Žažina (nmv 100, N 45° 29' 59"; E 16 ° 14' 47") posađeno je 2016. korištenjem rizoma putem sklopa od jednog rizoma na m² (Slika 8.3.8.1.). Bilandžija i sur. (2019). navode proljetni prinos od 3,21 t ST/ha u drugoj godini starosti nasada sezone. Ujedno, autori navode kako je pokusno polje postavljeno ručnom sadnjom na samoj margini poljoprivredne površine (Slika 8.3.8.3.) i to na tlu izrazite kiselosti.

	
Slika 8.3.8.1. Korišteni rizomi (autor: J. Leto)	8.3.8.2. Ručna sadnja (autor: J. Leto)
	
8.3.8.3. Nasad u proljeće 2017. (autor: J. Leto)	8.3.8.4. Nasad u zimu 2020. (autor: J. Leto)

9. Rasprava

Virdžinijski sljez

Facciotto i sur. (2018) navode da prinosi virdžinijskog sljeza u prvoj godini značajno ovise o načinu zasnivanja nasada, a kreću se od 0,4 do 6,6 t ST/ha. Cumplido-Marin i sur. (2020) navode raspon od 2,9 do 20 t ST/ha za naredne sezone. Prinos suhe tvari virdžinijskog sljeza od 8,77 t/ha kojeg Pavleković (2019) utvrđuje u drugoj godini nasada s 1,78 biljaka/m² (pokušalište Maksimir) niži je u odnosu na prinos koji su utvrdili Szemplimski i sur. (2017) s 3,5 biljaka/m², koji iznosi 11,2 t/ha. Na Maksimiru su korištene presadnice sa grudom supstrata, dok su Szemplimski i sur. (2017) koristili korijenove reznice i proveli gnojdbu od 150 kg N/ha. Borkowska i Molas (2012) su u drugoj sezoni rasta postigli prinos od 15,31 t/ha kod gustoće od 4,08 biljaka/m² što je značajno više od prinosa dobivenih na Maksimiru. Jablonowski i sur. (2020) su u drugoj godini nasada zabilježili prinos od 17,0 t/ha s 4 biljke po m². Medvedec (2020) na Maksimiru uz korištenje otpadnog mulja kao gnojiva, zabilježila je prinos od 12,88 t/ha s 1,78 biljaka/m² kod doze mulja od 6,64 t/ha ST u trećoj vegetacijskoj sezoni, dok su Papamatthaiakis i sur. (2021) u Finskoj u trećoj godini utvrdili 16,72 t/ha ST uz 0,67 biljaka/m². Molas i sur. (2021) su u drugoj uzgojnoj sezoni dobili 17,5 izbojaka po m² kod generativno razmnoženih biljaka i 29,8 kod vegetativno razmnoženih, dok Medvedec (2020) navodi 11,72 izboja po m². Medvedec (2020) navodi da su tretmani otpadnim muljem utjecali na prinos, ali ne i na visinu biljaka te broj izbojaka. Borkowska i sur. (2009) navodi da povećanjem količine dodanog fosfora s 39,28 na 52,38 kg/ha broj izboja/m² raste za prosječno 2 izboja u razdoblju od 4 godine. Za primjenu 200 kg/ha dušika nije zabilježena značajna razlika u odnosu na 100 kg/ha dušika. Jablonowski i sur. (2020) su zabilježili više prinose kod nasada s većom gustoćom biljaka po m². Zbroj prinosa prve, druge i treće godine iznosio je prosječno 21,4; 28,0 i 34,3 t/ha ST za gustoće od 1, 2 i 4 biljke po m². Molas i sur. (2021) navode da vegetativno zasnovani nasadi daju više prinose. Tu tvrdnju potkrepljuju desetogodišnjim prosjekom od 16,84 t/ha ST kod vegetativno zasnovanog nasada dok je kod generativno zasnovanog nasada taj prosjek iznosio 10,86 t/ha ST. Utvrdili su i da vegetativno razmnožene biljke razvijaju više izbojaka i veću visinu.

Divlje proso

Virgilio i sur. (2006) navode prinose od 2,3 – 14,6 t/ha ST u prvoj godini uzgoja, u drugoj godini 3,7 – 24,4 t/ha ST, te utvrđuju značajan utjecaj različitih parametara tla na prinos. Sharma i sur. (2003) su u Italiji dobili prosječne prinose divljeg prosa od 7,14; 12,36 i 10,27 t/ha ST za drugu, treću i četvrtu godinu uzgoja uz značajne varijacije između kultivara. Lewandowski i sur. (2003) za Europu navode prinose od 5 – 23 t/ha ST s višim prinosima uzgojem nizinskih kultivara, Parrish i Fike (2005) navode prosjek od 15 t/ha, Wullschlager i sur. (2010) 20 t/ha i više u južnim dijelovima Sjeverne Amerike i Europe. Pfeifer i sur. (1990) navode da se prinosi kreću u rasponu od 0,9 – 34,6 t/ha ST. Kralj (2019) na pokušalištu Šašinovec

(Hrvatska) nakon treće vegetacijske sezone utvrđuje prosječan prinos od 19,08 t/ha ST u jesenskom roku žetve što je više ili u razini s navedenim prinosima Europe i Amerike. Proljetni prinos u zadanim uvjetima Hrvatske iznosio je 13,27 t/ha ST što je za 30,5% niže od jesenskog, međutim, udio suhe tvari je narastao s 38,91% na 89,22%. Taranenko i sur. (2019) u Ukrajini su uz gnojdbu dušikom u rasponu od 0 – 60 kg N/ha najviši prinos od 16,7 t/ha ST dobili u šestoj sezoni uzgoja s 30 kg N/ha, veće količine dodanog dušika su uzrokovale smanjenje prinosa. Radman (2020) je Šašinovcu utvrđuje prinos od 28,81 t/ha ST u jesen nakon četvrte vegetacijske sezone uz gnojdbu pepelom za koju je zaključeno da nije značajno utjecala na samu produktivnost istraživane kulture. Sadeghpour i sur. (2014) su u proljetnom roku žetve nakon treće vegetacijske sezone zabilježili prinos od 3,86 t/ha ST, Seepaul i sur. (2014) postigli su 15,0 t/ha ST nakon četvrte vegetacijske sezone. Radman (2020) u proljetnoj žetvi bilježi prinos od prosječno 23,08 t/ha ST nakon četvrte vegetacijske sezone. Razlika između jesenskog i proljetnog prinosa koje utvrđuje Radman (2020) iznosila je oko 20% u prosjeku, dok Elbersen i sur. (2013) navode razlike od 30 – 40% između različitih rokova žetve, a Adler i sur. (2006) navode razlike u rasponu od 20 – 24%. Seepaul i sur. (2014) navode da manji broj žetava u sezoni rezultira višim prinosima i manjim iznošenjem nutrijenata. Sanderson i sur. (1999) navode da je prinos prosa najviši kod žetve provedene sredinom rujna, a prinos opada nakon prvog mraza.

Miskantus

Clifton-Brown i sur. (2002) na području Sjeverne Amerike u prvoj godini uzgoja na dvije različite lokacije dobili su prinos miskantusa od 2,7 do 4,0 t/ha ST, Kovačević (2012) je na Medvednici (Hrvatska) u prvog godini utvrđuje jesenski prinos od 2,46 t/ha ST. U drugoj godini Clifton-Brown i sur. (2002) dobili su 13,7 i 11,8 t/ha ST na dvije različite lokacije, dok na Medvednici u drugoj godini uzgoja Sever (2013) mjeri prinos od 16,97 t/ha ST i 20,13 t/ha ST u Donjoj Bistri. Stojanović (2013) utvrđuje prinos na dvije lokacije te navodi 9,35 t/ha ST na Medvednici i 10,63 t/ha ST u Donjoj Bistri. Heaton i sur. (2008) u Illinoisu (SAD) navode da je nakon treće vegetacijske sezone postignut prinos od 20,9 t/ha ST, dok Hudek (2014) na Medvednici navodi prinos od 25,08 i 30,81 t/ha ST u Donjoj Bistri nakon treće uzgojne sezone. Leto (2015) bilježi visinu biljaka u rasponu od 2,84 – 3,35 metara i 44,13 – 46,61 izbojaka po biljci dok su Jeżowski i sur. (2017) zabilježili visinu od 1,79 metara i 31,33 izboja po biljci nakon treće sezone. Maksimović i sur. (2016) (Srbija) navode prinos od 18,60 t/ha ST za nasad star 3 godine zasnovan s 2 rizoma po m². Lončarić (2016) nakon treće sezone u Donjoj Bistri utvrđuje prinos od 30,88 t/ha ST. Leto (2015) i Skočibušić (2015) dobili su prinos od 20 t/ha ST u Ličkom Petrovom Selu nakon treće godine nasada. Nakon četvrte uzgojne sezone Heaton i sur. (2008) utvrđuju prinos od 33,4 t/ha ST. Leto (2016) i Bilandžija (2018) su izmjerili visine izboja od 3,38 do 3,45 metara i prosječno 52,30 izbojaka po biljci. Danalatos i sur. (2007) utvrđuju visinu od 2,33 metara i prosječno 79,48 izbojaka po biljci nakon četvrte sezone nasada. Battaglia i sur. (2019) u četvrtoj sezoni navode prosječnih 45,4 izboja po biljci, a Leto (2016) dobiva 48,0 izbojaka po biljci u četvrtoj sezoni. Nakon pete uzgojne sezone Heaton i sur. su dobili 34,6 t/ha

ST, Prčik i Kotrla (2016) 30,9 t/ha ST, a Skočibušić (2015) nakon četvrte sezone na Medvednici bilježi prinos od 41,54, a 40,41 t/ha ST u Donjoj Bistri. Savković (2016) u petoj godini nasada bilježi prosječnu visinu od 3,35 metara te 53,50 izboja po biljci, dok su Danalatos i sur. (2007) dobili prosječno 3,23 metara i 86,24 izbojaka po biljci, te Battaglia i sur. (2019) prosječno 62 izboja po biljci. Kim i sur. (2010) u šestoj godini su dobili visinu od prosječno 3,37 metara kod biljaka uzgojenih rizomima te 3,68 metara kod biljaka uzgojenih iz sadnica dobivenih in vitro. Acaroglu i Aksoy (2005) u Turskoj u pokusu s različitim gnojidbenim tretmanima navode najviši prinos kod gnojidbe s 100 kg N/ha. Nakon treće sezone prinos je iznosio 13,19 t/ha ST. Stuburić (2015) na Medvednici nije utvrdila značajne razlike između različitih gnojidbenih tretmana, prosječan prinos svih tretmana nakon četvrte sezone iznosio je 39,89 t/ha ST. Ercoli i sur. (1999) u Italiji su uz gnojidbu s 100 kg N/ha i navodnjavanje postigli prinos od 37,5 t/ha ST nakon treće sezone. Heaton i sur. (2008) su u Illinoisu (SAD) postigli prinose od 30 t/ha ST bez navodnjavanja i s minimalnom gnojidbom od 25 kg N/ha po sezoni. Savković (2016) primjenjujući različite gnojidbene tretmane nije uočio značajne razlike između tretmana, a prinos se nakon pete sezone kretao u rasponu od 33,70 – 38,41 t/ha ST kroz različite tretmane gnojidbe. Lewandowski (1998) navodi da biljke dobivene mikropropagacijom razviju više izbojaka od onih zasnovanih rizomima, u skladu s time su i rezultati istraživanja koje je provela Rajić (2020) u Šašinovcu u kojem je najveći broj izboja (55,05 u trećoj sezoni) utvrdila za biljke uzgojene iz presadnica. Najviši prinos Rajić je utvrdila također kod presadnica (27,23 t/ha ST u trećoj sezoni). Boersma (2013) navodi da metoda propagacije ima mali učinak na prinos i sastavnice prinosa. Grubišova i sur. (2019) izvješćuju da metoda propagacije može imati utjecaj na prinos i sastavnice prinosa. Gudeljević (2022) na temelju pokusa postavljenom u Šašinovcu zaključuje da gnojidba pepelom nije imala utjecaj na prinos miskantusa, nego samo na visinu biljaka. Nakon četvrte vegetacijske sezone najviši broj izbojaka po biljci iznosio je 89,3 za rizome iz Engleske, a najviši prinos od 41,21 t/ha ST također kod rizoma iz Engleske. Maughan i sur. (2012) nije utvrdio utjecaj gnojidbe dušikom od 60 i 120 kg/ha na broj izbojaka koji je bio najveći nakon treće sezone u Kentucky-u (70,4) kod kontrole (0 kg N/ha).

10. Zaključak

Istraživanja provedena u Republici Hrvatskoj pokazuju da su prinosi višegodišnjih energetskih kultura u Hrvatskoj usporedivi s prinosima zabilježenim u istraživanjima diljem svijeta kroz različite agroekološke i klimatske uvjete.

Neka istraživanja pokazuju da se mogu postići i viši prinosi u odnosu na prinose navedene u stranim istraživanjima.

Nad kontinentalnom hrvatskom vlada umjerena kontinentalna klima. Na višim nadmorskim visinama javlja se planinska klima različita uglavnom po temperaturi. U različitim uvjetima na različitim lokacijama i nadmorskim visinama postignuti su visoki, ali ipak različiti prinosi istraživanih energetskih kultura.

Na lokacijama Ličko Petrovo Selo (mnv 352) i Medvednica (mnv 655) koje se nalaze na višim nadmorskim visinama (brdsko planinska područja) i gdje se javlja planinska klima, zabilježeni prinosi miskantusa su nešto niži u odnosu na prinose zabilježene na lokaciji Donja Bistra (mnv 144) koja se nalazi u području kontinentalne Hrvatske u kojoj prevladava umjerena kontinentalna klima.

Najviši prinosi suhe tvari biomase po jedinici površine između obrađenih energetskih kultura zabilježeni su kod miskantusa.

Prosječni jesenski prinosi hrvatskih istraživanja nakon treće uzgojne sezone iznosili su: 9,52 t/ha ST - virdžinijski sljez; 19,08 t/ha ST - divlje proso i 23,68 t/ha ST - miskantus. U proljetnom roku žetve prinosi su iznosili prosječno: 6,53 t/ha ST - virdžinijski sljez; 13,27 t/ha ST - divlje proso i 12,43 t/ha ST - miskantus

Pomicanjem žetve od jeseni prema zimi ili proljeću dolazi do pada prinosa biomase energetskih kultura, međutim, kvaliteta biomase raste zbog sve manjeg udjela vlage usred prirodnog sušenja nasada. Prosječni udjeli suhe tvari nakon treće vegetacijske sezone u jesenkom roku žetve iznosili su: 55,04% - virdžinijski sljez; 38,91% - divlje proso i 47,59% - miskantus, dok su prosječni udjeli suhe tvari u proljetnom roku žetve iznosili: 76,87% - virdžinijski sljez; 89,22% - divlje proso i 89,71% - miskantus.

11. Popis literature

1. Acaroğlu, M. i Aksoy, A. Ş. (2005) The cultivation and energy balance of *Miscanthus* × *giganteus* production in Turkey. *Biomass and Bioenergy*, 29(1), 42-48.
2. Adler, P.R., Sanderson, M.A., Boateng, A.A., Weimer, P.J. i Jung H.G. (2006) Biomass yield and biofuel quality of switchgrass harvested in fall or spring. *Agronomy Journal*, 98:1518–1525.
3. Alalwan, H. A., Alminshid, A. H. i Aljaafari, H. A. (2019) Promising evolution of biofuel generations. Subject review. *Renewable Energy Focus*, 28, 127-139.
4. Amini, Z., Ilham, Z., Ong, H. C., Mazaheri, H. i Chen, W. H. (2017) State of the art and prospective of lipase-catalyzed transesterification reaction for biodiesel production. *Energy Conversion and Management*, 141, 339-353.
5. Andrews, S.S. (2006) Crop Residue Removal for Biomass Energy Production: Effects on Soils and Recommendations. USDA-NRCS.
6. Antonkiewicz, J., Kołodziej, B. i Bielińska, E. J. (2017) Phytoextraction of heavy metals from municipal sewage sludge by *Rosa multiflora* and *Sida hermaphrodita*. *International journal of phytoremediation*, 19(4), 309-318.
7. Atkinson, C. J. (2009) Establishing perennial grass energy crops in the UK: A review of current propagation options for *Miscanthus*. *Biomass and bioenergy*, 33(5), 752-759.
8. Bašić F. (2013) *The Soils of Croatia*, World Soils Book Series, Springer Netherlands.
9. Battaglia, M., Fike, J., Fike, W., Sadeghpour, A. i Diatta, A. (2019) *Miscanthus* × *giganteus* biomass yield and quality in the Virginia Piedmont. *Grassland science*, 65(4), 233-240.
10. Beaty, E. R., Engel, J. L. i Powell, J. D. (1978) Tiller development and growth in switchgrass. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 31(5), 361-365..
11. Benedict, H. M. (1940) Effect of day length and temperature on the flowering and growth of four species of grasses. *Journal of Agricultural Research*, 61(9), 661-71.
12. Bhuiya, M. M. K., Rasul, M. G., Khan, M. M. K., Ashwath, N. i Azad, A. K. (2016) Prospects of 2nd generation biodiesel as a sustainable fuel—Part: 1 selection of feedstocks, oil extraction techniques and conversion technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 1109-1128.
13. Bilandžija, N., Krička, T. i Leto, J. (2021) Potencijal energetske kulture Miskantus na području Banije. Obnova poljoprivrede i ruralnog prostora na potresom pogođenom području banovine.
14. Blanco-Canqui, H. i Lal, R. (2009) Crop residue removal impacts on soil productivity and environmental quality. *Critical Reviews in Plant Sciences* 28, 139–163.
15. Boateng, A. A., Hicks, K. B. i Vogel, K. P. (2006) Pyrolysis of switchgrass (*Panicum virgatum*) harvested at several stages of maturity. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 75(2), 55-64.
16. Boersma, N. (2013) The influence of propagation method and stand age on *Miscanthus* × *giganteus* performance in Iowa, USA. *Graduate Theses and Dissertations. Paper*, 13588.
17. Borkowska H, Molas R. (2012) Two extremely different crops, *Salix* and *Sida*, as sources of renewable bioenergy. *Biomass and Bioenergy*. 36:234-40.
18. Borkowska H, Styk B, Molas R. (2006) Staude mit Potenzial: *Sida* als Energie- und Faserpflanze. *Energie Pflanzen*, 2, 12–13.
19. Borkowska, H., Molas, R. (2012) Two extremely different crops, *Salix* and *Sida*, as sources of renewable bioenergy. *Biomass Bioenergy*, 36, 234–240.
20. Borkowska, H., Molas, R. i Kupczyk, A. (2009) Virginia fanpetals (*Sida hermaphrodita* rusby) cultivated on light soil; height of yield and biomass productivity. *Polish Journal of Environmental Studies*, 18(4).
21. Bransby, D. I., McLaughlin, S. B. i Parrish, D. J. (1998) A review of carbon and nitrogen balances in switchgrass grown for energy. *Biomass and Bioenergy*, 14(4), 379-384.

22. Carriquiry, M. A., Du, X. i Timilsina, G. R. (2011) Second generation biofuels: Economics and policies. *Energy policy*, 39(7), 4222-4234.
23. Casler, M.D. i A.R. Boe. (2003) Cultivar x environment interactions in switchgrass. *Crop Science*. 43:2226–2233.
24. Christian, D. G., Riche, A. B. i Yates, N. E. (2008) Growth, yield and mineral content of *Miscanthus × giganteus* grown as a biofuel for 14 successive harvests. *Industrial crops and products*, 28(3), 320-327.
25. Clifton-Brown, J. C., Breuer, J. i Jones, M. B. (2007) Carbon mitigation by the energy crop, *Miscanthus*. *Global Change Biology*, 13(11), 2296-2307.
26. Clifton-Brown, J. C., Lewandowski, I., Bangerth, F. i Jones, M. B. (2002) Comparative responses to water stress in stay-green, rapid-and slow senescing genotypes of the biomass crop, *Miscanthus*. *New Phytologist*, 154(2), 335-345.
27. Clifton-Brown, J.C., Lewandowski, I., Andersson, B., Basch, G., Christian, D.G., Kjeldsen, J.B., Jørgensen, U., Mortensen, J.V., Riche, A.B., Schwarz, K., Tayebi, K. i Teixeira, F. (2001) Performance of 15 *Miscanthus* Genotypes at Five Sites in Europe. *Agronomy Journal*, 93: 1013-1019.
28. Cumplido-Marin, L., Graves, A. R., Burgess, P. J., Morhart, C., Paris, P., Jablonowski, N. D., Facciotto G., Bury M., Martens R. i Nahm, M. (2020) Two Novel Energy Crops: *Sida hermaphrodita* (L.) Rusby and *Silphium perfoliatum* L. — State of Knowledge. *Agronomy*, 10(7), 928.
29. Danalatos, N. G., Archontoulis, S. V. i Mitsios, I. (2007) Potential growth and biomass productivity of *Miscanthus × giganteus* as affected by plant density and N-fertilization in central Greece. *Biomass and Bioenergy*, 31(2-3), 145-152.
30. David, K. i Ragauskas, A. J. (2010) Switchgrass as an energy crop for biofuel production: a review of its ligno-cellulosic chemical properties. *Energy i Environmental Science*, 3(9), 1182-1190.
31. Dezbowski M., Dudek M., Zielinski M. i Grala A. (2012) Effectiveness of methane fermentation of Virginia Fanpetals (*Sida hermaphrodita* Rusby) under mesophilic conditions. *Ecological Chemistry and Engineering A*, 19 , 1445–1453.
32. Di Virgilio, N., Monti, A. i Venturi, G. (2007) Spatial variability of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) yield as related to soil parameters in a small field. *Field crops research*, 101(2), 232-239.
33. Dibenedetto, A. (2011) The potential of aquatic biomass for CO₂-enhanced fixation and energy production. *Greenhouse Gases: Science and Technology*, 1(1), 58-71.
34. Dragone, G., Fernandes, B. D., Vicente, A. A. i Teixeira, J. A. (2010) Third generation biofuels from microalgae. *Formatex Research Center*. University of Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal.
35. Dvorneković, D. (2012) *Dinamika rasta energetske trave Miscanthus x giganteus u drugoj godini uzgoja*. Završni rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet.
36. Elbersen, W., Poppens, R., i Bakker, R. (2013) *Switchgrass (Panicum virgatum L.). A perennial biomass grass for efficient production of feedstock for the biobased economy*. A report for the Netherlands Programmes Sustainable Biomass of NL Agency.
37. Ercoli, L., Mariotti, M., Masoni, A. i Bonari, E. (1999) Effect of irrigation and nitrogen fertilization on biomass yield and efficiency of energy use in crop production of *Miscanthus*. *Field Crops Research*, 63(1), 3-11.
38. Facciotto, G., Bury, M., Chiocchini, F., Cumplido Marin, L., Czyż, H., Graves, H., Kitczak, T., Martens, R., Morhart, C., Paris, P. (2018) Performance of *Sida hermaphrodita* and *Silphium perfoliatum* in Europe: Preliminary results. In *Biomass Crops and Energy Grasses*, Proceedings of the 26th European Biomass Conference and Exhibition, Copenhagen, Denmark, 14–17 May 2018; ETA-Florence Renewable Energies: Florence, Italy; pp. 350–352.
39. FAO (2017) Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) *The Future of Food and Agriculture: Trends and Challenges* (2017).

40. Franzaring, J., Holz, I., Kauf, Z. i Fangmeier, A. (2015) Responses of the novel bioenergy plant species *Sida hermaphrodita* (L.) Rusby and *Silphium perfoliatum* L. to CO₂ fertilization at different temperatures and water supply. *Biomass and Bioenergy*, 81, 574-583..
41. Franzaring, J., Holz, I., Kauf, Z. i Fangmeier, A. (2015) Responses of the novel bioenergy plant species *Sida hermaphrodita* (L.) Rusby and *Silphium perfoliatum* L. to CO₂ fertilization at different temperatures and water supply. *Biomass and Bioenergy*, 81: 574-583.
42. Fuentes, R. G. i Taliaferro, C. M. (2002) Biomass yield stability of switchgrass cultivars. *Trends in new crops and new uses*, 276e82.
43. Greef, J. M., Deuter, M., Jung, C. i Schondelmaier, J. (1997) Genetic diversity of European *Miscanthus* species revealed by AFLP fingerprinting. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 44(2), 185-195.
44. Gubišová, M., Gubiš, J. i Žofajová, A. (2016) Biomass Production of Gigantic Grasses and in the Dependence on Plant Multiplication Method. *Agriculture (Pol'nohospodárstvo)*, 62(2), 43-51.
45. Habert, G., Bouzidi, Y., Chen, C. i Jullien, A. (2010) Development of a depletion indicator for natural resources used in concrete. *Resources, conservation and recycling*, 54(6), 364-376.
46. Hamelinck, C. i Faaij, A. (2006) Outlook for advanced biofuels. *Energy Policy* 34, 3268–3283.
47. Harshwardhan, K. i Upadhyay, K. (2017) Effective utilization of agricultural waste: review. *J. Fundam. Renew. Energy Appl*, 7, 237.
48. Hayashi, I., Hishinuma, Y., i Yamasawa, T. (1981) Structure and functioning of *Miscanthus sinensis* grassland in Sugadaira. Central Japan. *Vegetatio*, 48:17–25.
49. Heaton, E. A., Dohleman, F. G. i Long, S. P. (2008) Meeting US biofuel goals with less land: the potential of *Miscanthus*. *Global change biology*, 14(9), 2000-2014.
50. Heaton, E. A., Long, S. P., Voigt, T. B., Jones, M. B. i Clifton-Brown, J. (2004) *Miscanthus* for renewable energy generation: European Union experience and projections for Illinois. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 9(4), 433-451.
51. Hoogwijk, M. M. (2004) *On the global and regional potential of renewable energy sources*. PhD Thesis. Netherlands: University Utrecht.
52. Horan, N.J. (2018) Introduction, in: Horan, N., Yaser, A., Wid, N. (Eds.), *Anaerobic Digestion Processes. Green Energy and Technology*. Springer, Singapore, pp 1-7.
53. Hsu, F.H., Nelson, C.J. i Matches, A.G. (1985) Temperature effects on germination of perennial warm-season forage grasses. *Crop Science* 25:215–220.
54. Hudek, K. (2014) *Morfološka i gospodarska svojstva Kineskog šaša (Miscanthus x giganteus) u trećoj godini uzgoja*. Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet.
55. Jablonowski, N. D., Kollmann, T., Meiller, M., Dohrn, M., Müller, M., Nabel, M., Zapp, P., Schonhoff, A. i Schrey, S. D. (2020) Full assessment of *Sida (Sida hermaphrodita)* biomass as a solid fuel. *Gcb Bioenergy*, 12(8), 618-635.
56. Jablonowski, N.D., Kollmann, T. i Nabel, M. (2017) Valorization of *Sida (Sida hermaphrodita)* biomass for multiple energy purposes. *GCB Bioenergy*, 9, 202–214.
57. Jankowski, K.J., Dubis, B., Budzynski, W.S., Borawski, P. i Bułkowska, K. (2016) Energy efficiency of crops grown for biogas production in a large-scale farm in Poland. *Energy*, 109 (Suppl. C), 277–286.
58. Jasinskas, A., Sarauskis, E., Sakalauskas, A., Vaiciukevicius, E., Siaudinis, G. i Cekanauskas, S. (2014) Assessment of unconventional tall grasses cultivation and preparation for solid biofuel. In *Proceedings of the 13th International Scientific Conference Engineering for Rural Development, Jelgava, Latvia*, 19–30 May 2014; Volume 43, pp. 253–258.
59. Jeżowski, S., Mos, M., Buckby, S., Cerazy-Waliszewska, J., Owczarzak, W., Mocek, A., Kaczmarek, Z. i McCalmont, J. P. (2017) Establishment, growth, and yield potential of the perennial grass *Miscanthus × giganteus* on degraded coal mine soils. *Frontiers in plant science*, 8, 726.
60. Jurišić, V., Voća, N., Bilandžija, N., Krička, T., Antonović, A., Grubor, M., Matin, A. i Kontek, M. (2017) Pirolitička svojstva važnijih energetske kulture u RH. In *52st Croatian and 12th International Symposium on Agriculture, Dubrovnik* (pp. 651-655).

61. Kim, H. S., Zhang, G., Juvik, J. A. i Widholm, J. M. (2010) *Miscanthus* × *giganteus* plant regeneration: effect of callus types, ages and culture methods on regeneration competence. *Gcb Bioenergy*, 2(4), 192-200.
62. Kovačević, A. (2012) *Prinos energetske trave Miscanthus x giganteus u različitim rokovima žetve u prvoj godini uzgoja*. Diplomski rad, Zageb: Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet.
63. Kralj, R. (2019) *Potencijal rodosti divljeg prosa (Panicum virgatum L.) u 3. godini uzgoja*. Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet.
64. Krasuska, E., Cadórniga, C., Tenorio, J. L., Testa, G. i Scordia, D. (2010) Potential land availability for energy crops production in Europe. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 4(6), 658-673.
65. Kurucz, E., Antal, G., Gabor, F. M. i Popp, J. (2014) Cost-effective mass propagation of Virginia fanpetals (*Sida hermaphrodita* (L.) Rusby) from seeds. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 13(11).
66. Kurucz, E., Fári, M.G., Antal, G., Gabnai, Z., Popp, J. i Bai, A. (2018) Opportunities for the production and economics of Virginia fanpetals (*Sida hermaphrodita*). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 824–834.
67. Lesur, C., Jeuffroy, M. H., Makowski, D., Riche, A. B., Shield, I., Yates, N., Fritz, M., Formowitz, B., Grunert M., Jorgensen, U., Laerke P.E. i Loyce, C. (2013) Modeling long-term yield trends of *Miscanthus* × *giganteus* using experimental data from across Europe. *Field Crops Research*, 149, 252-260.
68. Lesur-Dumoulin, C., Lorin, M., Bazot, M., Jeuffroy, M. H. i Loyce, C. (2016) Analysis of young *Miscanthus* × *giganteus* yield variability: a survey of farmers' fields in east central France. *Gcb Bioenergy*, 8(1), 122-135.
69. Lewandowski, I. (1998) Propagation method as an important factor in the growth and development of *Miscanthus* × *giganteus*. *Industrial Crops and Products*, 8(3), 229-245.
70. Lewandowski, I., Scurlock, J. M., Lindvall, E. i Christou, M. (2003) The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass and bioenergy*, 25(4), 335-361.
71. Lisowski, A., Swieztochowski, A., Szulc, K., Lenart, A. (2011) Density and porosity of the cut and ground material of energy plants. *Annals of Warsaw University of Life Sciences, Agricultural and Forest Engineering*, 58, 21–28.
72. Lončarić, M. (2016) *Utjecaj roka žetve na prinos kineskog šaša (Miscanthus x giganteus)*. Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet.
73. Ma, Z., Wood, C. W. i Bransby, D. I. (2000) Carbon dynamics subsequent to establishment of switchgrass. *Biomass and Bioenergy*, 18(2), 93-104.
74. Ma, Z., Wood, C. W. i Bransby, D. I. (2000) Impacts of soil management on root characteristics of switchgrass. *Biomass and Bioenergy*, 18(2), 105-112.
75. Mack, J. H., Schuler, D., Butt, R. H. i Dibble, R. W. (2016) Experimental investigation of butanol isomer combustion in Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) engines. *Applied Energy*, 165, 612-626.
76. Maksimović, J., Pivić, R., Stanojkovic-Sebić, A., Dinić, Z., Vucic-Kisgeci, M., Kresović, B. i Glamočlija, Đ. (2016) Planting density impact on weed infestation and the yield of *Miscanthus* grown on two soil types. *Plant Soil and Environment*, 62(8), 384-388.
77. Matyka, M. i Kuś, J. (2018). Influence of soil quality for yield and biometric features of *Sida hermaphrodita* L. Rusby. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27(6), 2669-2675.
78. Maughan, M., Bollero, G., Lee, D. K., Darmody, R., Bonos, S., Cortese, L., Murphy, J., Gaussoin, R., Sousek, M., Williams, D., Williams, L., Miguez, F. i Voigt, T. (2012) *Miscanthus* × *giganteus* productivity: the effects of management in different environments. *Gcb Bioenergy*, 4(3), 253-265.
79. McKendry, P. (2002) Energy production from biomass (part 2): Conversion technologies. *Bioresource Technology*. 83(1), 47-54.

80. McLaughlin, S., Bouton, J., Bransby, D., Conger, B., Ocumpaugh, W., Parrish, D., Taliaferro, C., Vogel, K. i Wullschlegel, S. (1999) Developing switchgrass as a bioenergy crop. *Perspectives on new crops and new uses*, 56, 282-299.
81. Medvedec, M. (2020) *Utjecaj primjene otpadnog mulja i roka žetve na gospodarska i morfološka svojstva side (Sida hermaphrodita (L.))*. Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet.
82. Molas, R., Borkowska, H. i Sawicka, B. (2021) Long-term study on utilization of Virginia fanpetals—a valuable biomass. *Annales UMCS sectio E Agricultura*, 76, 1.
83. Mutoh, N., Kimura, M., Oshima, Y. i Iwaki, H. (1985) Special diversity and primary productivity in *Miscanthus sinensis* grasslands. I. Diversity in relation to stand and dominance. *Botanical Magazine*, 98:159–70.
84. Nahm, M. i Morhart, C. (2018) Virginia mallow (*Sida hermaphrodita* (L.) Rusby) as perennial multipurpose crop: Biomass yields, energetic valorization, utilization potentials, and management perspectives. *GCB Bioenergy*, 10, 393–404.
85. Nanda, S., Golemi-Kotra, D., McDermott, J.C., Dalai, A.K., Gokalp, I. i Kozinski, J.A. (2017) *New Biotechnology*. 37, 210–221.
86. Naqvi, M. i Yan, J. (2015) First-generation biofuels. *Handbook of clean energy systems*, 1-18.
87. Newman, P. R. i Moser, L. E. (1988) Grass seedling emergence, morphology, and establishment as affected by planting depth. *Agronomy Journal*, 80(3), 383-387.
88. Newman, P.R. i Moser, L.E. (1988) Grass seedling emergence, morphology, and establishment as affected by planting depth. *Agronomy Journal*, 80:383-387.
89. Norkobilov, A., Gorri, D. i Ortiz, I. (2017) Process flowsheet analysis of pervaporation-based hybrid processes in the production of ethyl tert-butyl ether. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 92(6), 1167-1177.
90. Nygaard, I., Dembele, F., Daou, I., Mariko, A., Kamissoko, F., Coulibaly, N., Borgstrom, R.L. i Bruun, T.B. (2016) Renew. *Sustainable Energy Review*, 61, 202–212.
91. Oleszek, M., Matyka, M., Lalak, J., Tys, J. i Paprota, E. (2013) Characterization of *Sida hermaphrodita* as a feedstock for anaerobic digestion process. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 11, 1839–1841.
92. Ondrašek, G., Zovko, M., Kranjčec, F., Bubalo, M., Romić, D., Savić, R., Filipović, L. i Filipović, V. (2017) Mogućnost primjene pepela iz biomase na kiselim i hranivima osiromašenim poljoprivrednim tlima. In *7th International Scientific and Professional Conference Water for all. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek*.
93. Ouattara, M. S., Laurent, A., Barbu, C., Berthou, M., Borujerdi, E., Butier, A., Malvoisin, P., Romelot, D. i Loyce, C. (2020) Effects of several establishment modes of *Miscanthus × giganteus* and *Miscanthus sinensis* on yields and yield trends. *GCB Bioenergy*, 12(7), 524-538.
94. Panciera, M.T. i Jung, G.A. (1984) Switchgrass establishment by conservation tillage: Planting date responses of two varieties. *Journal of Soil Water Conserve* 39:68–70.
95. Papamatthaiakis, N., Laine, A., Haapala, A., Ikonen, R., Kuittinen, S., Pappinen, A., Kolström, M. i Mola-Yudego, B. (2021) New energy crop alternatives for Northern Europe: Yield, chemical and physical properties of Giant knotweed (*Fallopia sachalinensis* var. 'Igniscum') and Virginia mallow (*Sida hermaphrodita*). *Fuel*, 304, 121349.
96. Parrish, D. J. i Fike, J. H. (2005) The biology and agronomy of switchgrass for biofuels. *BPTS*, 24(5-6), 423-459.
97. Pavleković, J. (2019) *Morfološka i gospodarska svojstva side (Sida hermaphrodita (L.)) Rusby u 2. godini uzgoja*. Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet.
98. Pedraza, J.M. (2015) The Current Situation and Perspectives on the Use of Renewable Energy Sources for Electricity Generation. In *Electrical Energy Generation in Europe*. 55-92.
99. Pfeifer, R. A., Fick, G. W., Lathwell, D. J. i Maybee, C. (1990) Screening and Selection of Herbaceous Species for Biomass Production in the Midwest/Lake States: Final Report 1985-1989. *ORNL/Sub/85-27410/5, submitted to the Biomass Feedstock Development Program, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee*.

100. Prčík, M. i Kotrla, M. (2016) Different planting material for establishment of the *Miscanthus* energy grass plantation. *Journal of Central European Agriculture*.
101. Radman, A. (2020) *Utjecaj primjene pepela i roka košnje na gospodarska i morfološka svojstva divljeg prosa (Panicum virgatum L.)*. Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet.
102. Raguzin, I. (2011) *Model analize troškova i dobiti uporabe biomase u proizvodnji električne energije*. Magistarski rad. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu.
103. Rajić, N. (2020) *Utjecaj podrijetla sadnog materijala i rokova žetve na prinos suhe tvari i sastavnice prinosa Miscanthus x giganteus*. Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet.
104. Remlein-Starosta, D., Krzyminska, J., Kowalska, J. i Bocianowski, J. (2016) Evaluation of yeast-like fungi to protect Virginia mallow (*Sida hermaphrodita*) against *Sclerotinia sclerotiorum*. *Canadian Journal of Plant Science*, 96, 243–251.
105. Rodionova, M. V., Poudyal, R. S., Tiwari, I., Voloshin, R. A., Zharmukhamedov, S. K., Nam, H. G., Zayadan, B.K., Bruce, B.D., Hou, H.J.M. i Allakhverdiev, S. I. (2017) Biofuel production: challenges and opportunities. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(12), 8450-8461.
106. Sabiiti, E. N. (2011) Utilising agricultural waste to enhance food security and conserve the environment. *African journal of food, agriculture, nutrition and development*, 11(6).
107. Sadeghpour, A., Gorlitsky, L. E., Hashemi, M., Weis, S. A. i Herbert, S. J. (2014) Response of switchgrass yield and quality to harvest season and nitrogen fertilizer. *Agronomy Journal*, 106(1), 290-296.
108. Saladini, F., Patrizi, N., Pulselli, F. M., Marchettini, N. i Bastianoni, S. (2016) Guidelines for energy evaluation of first, second and third generation biofuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 221-227.
109. Sanderson, M. A., Adler, P. R., Boateng, A. A., Casler, M. D. i Sarath, G. (2006) Switchgrass as a biofuels feedstock in the USA. *Canadian Journal of Plant Science*, 86 (Special Issue), 1315-1325..
110. Sanderson, M. A., Reed, R. L., McLaughlin, S. B., Wulschleger, S. D., Conger, B. V., Parrish, D. J., Wolf, D.D., Taliaferro, C., Hopkins, A.A., Ocumpaugh, W.R., Hussey, M.A., Read, J.C. i Tischler, C. R. (1996) Switchgrass as a sustainable bioenergy crop. *Bioresource technology*, 56(1), 83-93.
111. Sanderson, M.A., Read, J.C. i Reed, R.L. (1999) Harvest management of switchgrass for biomass feedstock and forage production. *Agronomy Journal*, 91:5– 10.
112. Savković, I. (2016) *Produktivnost trave (Miscanthus x giganteus) u različitim gnojidbenim tretmanima*. Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet.
113. Sawatdeenarunat, C., Sung, S. i Khanal, S.K. (2017) Enhanced volatile fatty acids production during anaerobic digestion of lignocellulosic biomass via micro-oxygenation. *Bioresource Technology*, 237, 139–145.
114. Scarlat, N., Dallemand, J. F. i Fahl, F. (2018) Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable energy*, 129, 457-472.
115. Scarlat, N., Dallemand, J. F. i Fahl, F. (2018) Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable energy*, 129, 457-472.
116. Schmer, M. R., Vogel, K. P., Mitchell, R. B., Moser, L. E., Eskridge, K. M. i Perrin, R. K. (2006) Establishment stand thresholds for switchgrass grown as a bioenergy crop. *Crop Science*, 46(1), 157-161.
117. Schmidt, A., Lemaigre, S., Ruf, T., Delfosse, P. i Emmerling, C. (2018) *Miscanthus* as biogas feedstock: Influence of harvest time and stand age on the biochemical methane potential (BMP) of two different growing seasons. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 8, 245–254.
118. Searchinger, T., Heimlich, R., Houghton, R., Dong, F., Elobeid, A., Fabiosa, J., Tokgoz, S., Hayes, D. i Yu, T., (2008) Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land use change. *Science* 319, 1157–1268.

119. Seepaul, R., Macoon, B., Reddy, K. R. i Evans, W. B. (2014) Harvest frequency and nitrogen effects on yield, chemical characteristics, and nutrient removal of switchgrass. *Agronomy Journal*, 106(5), 1805-1816.
120. Sever, M. (2013) *Utjecaj agroekoloških uvjeta na prinos trave miscanthus x giganteus u jesenskom roku žetve*. Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet.
121. Sharma, N., Piscioneri, I. i Pignatelli, V. (2003) An evaluation of biomass yield stability of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) cultivars. *Energy conversion and management*, 44(18), 2953-2958.
122. Shen, Z. X., Parrish, D. J., Wolf, D. D. i Welbaum, G. E. (2001) Stratification in switchgrass seeds is reversed and hastened by drying. *Crop Science*, 41(5), 1546-1551.
123. Singh, R. P. i Agrawal, M. (2008) Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste management*, 28(2), 347-358.
124. Skočibušić, L. (2017) *Produktivnost energetske trave Miscanthus x giganteus u različitim agroekološkim uvjetima*. Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet.
125. Smolinski, A., Howaniec, N. i Stanczyk, K. (2011) A comparative experimental study of biomass, lignite and hard coal steam gasification. *Renewable Energy*, 36, 1836– 1842.
126. Somerville, C., Youngs, H., Taylor, C., Davis, S. C. i Long, S. P. (2010) Feedstocks for lignocellulosic biofuels. *Science*, 329(5993), 790-792.
127. Spooner, D.M., Cusick, A.W., Hall, G.F. i Baskin, J.M. (1985) Observations on the distribution and ecology of *Sida hermaphrodita* (L.) Rusby (*Malvaceae*). *Sida Contributions to Botany*, 11, 215–225.
128. Stojanović, L. (2013) *Prinos trave miscanthus x giganteus u zimskom roku žetve u nizinskom i gorskom području*. Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet.
129. Stuburić, I. (2015) *Utjecaj gnojidbe mineralnim i organskim gnojivima na morfološka i gospodarska svojstva trave Miscanthus x giganteus*. Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet.
130. Szeplinski, W., Parzonka, A. i Salek, T. (2014) Yield and energy efficiency of biomass production of some species of plants grown for biogas. *Acta Scientiarum Polonorum Agricultura*. 13:67-80.
131. Šurić, J., Brandić, I., Peter, A., Bilandžija, N., Leto, J., Karažija, T., Kutnjak, H., Poljak, M. i Voća, N. (2022) Wastewater Sewage Sludge Management via Production of the Energy Crop Virginia Mallow. *Agronomy*, 12(7), 1578.
132. Taranenko, A., Kulyk, M., Galytska, M. i Taranenko, S. (2019) Effect of cultivation technology on switchgrass (*Panicum virgatum* L.) productivity in marginal lands in Ukraine. *Acta Agrobotanica*, 72(3).
133. Tilman, D., Socolow, R., Foley, J.A., Hill, J., Larson, E., Lynd, L., Pacala, S., Reilly, J., Searchinger, T., Somerville, C. i Williams, R. (2009) Benefi cial biofuels-the food, en ergy, and environment dilemma. *Science* 325:270–271.
134. Trabelsi, A. B. H., Zaafouri, K., Baghdadi, W., Naoui, S. i Ouerghi, A. (2018) Second generation biofuels production from waste cooking oil via pyrolysis process. *Renewable energy*, 126, 888-896.
135. Tursi, A. (2019) A review on biomass: importance, chemistry, classification, and conversion. *Biofuel Research Journal*, 6(2), 962-979.
136. Ul Hai, I., Sher, F., Yaqoob, A. i Liu, H. (2019) Assessment of biomass energy potential for SRC willow woodchips in a pilot scale bubbling fluidised bed gasifier. *Fuel*, 258, 116143.
137. Vassilev, S. V. i Vassileva, C. G. (2016) Composition, properties and challenges of algae biomass for biofuel application: An overview. *Fuel*, 181, 1-33.
138. Vassilev, S. V., Baxter, D., Andersen, L. K., Vassileva, C. G. i Morgan, T. J. (2012) An overview of the organic and inorganic phase composition of biomass. *Fuel*, 94, 1-33.
139. Voća (2022) Zbrinjavanje mulja kroz proizvodnju energetskih kultura. *Izvešće projekta HRZZ-Hrvatska zaklada za znanost (2018. – 2022.)*.
140. Vogel, K. P. (2004) Switchgrass. *Warm-season (C4) grasses*, 45, 561-588.

141. Vogel, K. P. i Masters, R. A. (2001) Frequency grid--a simple tool for measuring grassland establishment. *Rangeland Ecology i Management/Journal of Range Management Archives*, 54(6), 653-655.
142. Vogel, K. P., Hopkins, A. A., Moore, K. J., Johnson, K. D. i Carlson, I. T. (1996) Registration of 'Shawnee' Switchgrass. *Crop Science*, 36(6), 1713-1713.
143. Vogel, K. P., Sarath, G., Saathoff, A. J. i Mitchell, R. B. (2011) Switchgrass. *RSC Energy and Environment Series*, (3), 341-380.
144. Vogel, K.P., Brejda, J.J., Walters D.T. i Buxton D.R. (2002) Switchgrass biomass production in the Midwest USA. *Agronomy Journal*. 94:413-420.
145. Vogel, K.P., Brejda, J.J., Walters, D.T. i Buxton, D.R. (2002) Switchgrass biomass production in the midwest USA: Harvest and nitrogen management. *Agronomy Journal*, 94:413-420
146. Vugrin, N. (2021) *Produkcija biomase miskantusa u odnosu na različitu aplikaciju mulja otpadnih voda*. Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet.
147. Wagner, A. O., Lackner, N., Mutschlechner, M., Prem, E. M., Markt, R. i Illmer, P. (2018) Biological pretreatment strategies for second-generation lignocellulosic resources to enhance biogas production. *Energies*, 11(7), 1797.
148. Wagner, M., Mangold, A., Lask, J., Petig, E., Kiesel, A. i Lewandowski, I. (2019) Economic and environmental performance of miscanthus cultivated on marginal land for biogas production. *GCB Bioenergy*, 11, 34-49.
149. Waller, S. S. i Lewis, J. K. (1979) Occurrence of C3 and C4 photosynthetic pathways in North American grasses. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 32(1), 12-28.
150. Wang, Y., Wang, H., Li, R., Fan, X., Peng, Z., Wu, J. i Duan, L. (2022) Biomass yield and quality of the *Miscanthus x giganteus* in northern China. *Agronomy Journal*, 114(2), 1091-1099.
151. WBA, (2018) *WBA Global bioenergy statistics 2018, Summary Report*. World Bioenergy Association, www.worldenergy.org.
152. Weiland, P. (2010) Biogas production: current state and perspectives. *Applied microbiology and biotechnology*, 85(4), 849-860.
153. Wulschleger, S. D., Davis, E. B., Borsuk, M. E., Gunderson, C. A. i Lynd, L. R. (2010) Biomass production in switchgrass across the United States: Database description and determinants of yield. *Agronomy Journal*, 102(4), 1158-1168.
154. Xue C., Liu F., Xu M., Zhao J., Chen L., Ren J., Bai F. i Yang S.T. (2016) A novel in situ gas stripping-pervaporation process integrated with acetone-butanol-ethanol fermentation for hyper n-butanol production. *Biotechnology and Bioengineering*, 113(1), 120-129.
155. Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec Tadić, M. i sur. (2008) Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia 1961-1990., 1971-2000. *Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb*.
156. Zegada-Lizarazu, W., Elbersen, H. W., Cosentino, S. L., Zatta, A., Alexopoulou, E. i Monti, A. (2010) Agronomic aspects of future energy crops in Europe. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 4(6), 674-691.

Životopis

Luka Kuzmić rodio se 6.9.1998. godine u Zagrebu. Završio je XIII. gimnaziju u Zagrebu nakon čega je upisao Agronomski fakultet, preddiplomski studij smjer Agroekologija. Završio je preddiplomski studij, a nakon toga je upisao diplomski studij, smjer Obnovljivi izvori energije u poljoprivredi kojeg trenutno pohađa. Služi se Engleskim jezikom u govoru i pismu. Aktivan je sportaš.