

Bilanca sekvestriranog ugljika biomasom različitih sadnih materijala miskantusa

Stuparić, Renato

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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:204:612203>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-12**



Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture



BILANCA SEKVESTIRANOG UGLJIKA BIOMASOM RAZLIČITIH SADNIH MATERIJALA MISKANTUSA

DIPLOMSKI RAD

Renato Stuparić

Zagreb, rujan, 2021.



Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture



Diplomski studij:

Poljoprivredna tehnika - Mehanizacija

BILANCA SEKVESTIRANOG UGLJIKA BIOMASOM RAZLIČITIH SADNIH MATERIJALA MISKANTUSA

DIPLOMSKI RAD

Renato Stuparić

Mentorica:

doc.dr.sc. Darija Bilandžija

Zagreb, rujan, 2021.



Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture



IZJAVA STUDENTA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, **Renato Stuparić**, JMBAG 0178111661, rođen/a 31.05.1995. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradio diplomski rad pod naslovom:

BILANCA SEKVESTIRANOG UGLJIKA BIOMASOM RAZLIČITIH SADNIH MATERIJALA MISKANTUSA

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 upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____

Renato Stuparić



Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture



IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studenta Renata Stuparića, JMBAG 0178111661, naslova

BILANCA SEKVESTIRANOG UGLJIKA BIOMASOM RAZLIČITIH SADNIH MATERIJALA MISKANTUSA

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____, dana _____.

Povjerenstvo:

potpisi:

- | | | | |
|----|------------------------------------|-----------|-------|
| 1. | doc. dr. sc. Darija Bilandžija | mentorica | _____ |
| 2. | doc. dr. sc. Nikola Bilandžija | član | _____ |
| 3. | izv. prof. dr. sc. Željka Zgorelec | članica | _____ |

Zahvala

Ovime zahvaljujem svojoj mentorici doc. dr. sc. Dariji Bilandžiji na vodstvu, strpljivosti i stručnoj pomoći, koju mi je pružila pri pisanju diplomskog rada.

Također zahvaljujem se doc. dr. sc. Nikoli Bilandžiji na ustupljenim fotografijama i pomoći u obavljanju terenskog dijela diplomskog rada.

Zahvaljujem svim profesorima Agronomskog fakulteta na znanju koje su mi prenijeli.

Velika hvala mojoj obitelji i prijateljima koji su mi pomogli tijekom mojeg školovanja.

Sadržaj

1. Uvod.....	1
1.1. Cilj istraživanja	5
2. Materijali i metode.....	6
2.1. Lokacija istraživanja	6
2.2. Pokusno polje	7
2.3. Klima	9
2.4. Tlo	11
2.5. Uzorkovanje biomase.....	12
2.6. Laboratorijska istraživanja.....	17
2.7. Bilanca ugljika	18
2.8. Statistička obrada podataka, upravljanje i kontrola kvalitete rezultata	18
3. Rezultati i rasprava	19
3.1. Sadržaj suhe tvari i ugljika u biomasi miskantusa	19
3.1.1. Nadzemna biomasa	20
3.1.2. Podzemna biomasa	22
3.1.3. Ukupna biomasa	24
3.2. Bilanca ugljika	25
4. Zaključak	27
Literatura	28
Životopis	35

Sažetak

Diplomskog rada studenta Renata Stuparića, naslova

BILANCA SEKVESTRIRANOG UGLJIKA BIOMASOM RAZLIČITIH SADNIH MATERIJALA MISKANTUSA

Jedna od mogućnosti ublažavanja klimatskih promjena je biološka sekvestracija ugljika koja predstavlja usvajanje atmosferskog ugljika od strane biljaka procesom fotosinteze. Energetske kulture poput miskantusa (*Miscanthus x giganteus*), uz produkciju značajne količine biomase dostupne za proizvodnju energije, također imaju i veliki sekvestracijski potencijal. Stoga je cilj rada utvrditi količinu ugljika u podzemnoj i nadzemnoj biomasi miskantusa te utvrditi bilancu sekvestriranog ugljika u odnosu na dva različita sadna materijala (presadnice/rizomi). Istraživanje je provedeno na pokušalištu Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta „Šašincec“ tijekom travnja 2021. godine. Prosječna količina ugljika u nasadu miskantusa uzgojenom iz rizoma iznosi 11,51 t/ha u nadzemnoj biomasi i 13,18 t/ha u podzemnoj biomasi do 25 cm dubine. U miskantusu uzgojenom iz presadnica, prosječna količina ugljika u nadzemnoj biomasi iznosi 9,87 t/ha i 14,90 t/ha u podzemnoj biomasi. Statističkom analizom nije utvrđena značajna razlika u sadržaju ugljika u podzemnoj i nadzemnoj biomasi između istraživanih sadnih materijala. Kod oba istraživana sadna materijala je utvrđena pozitivna i značajno različita godišnja bilanca ugljika, koja je kod miskantusa uzgojenog iz rizoma tri puta manja (1,66 t/ha) u odnosu na bilancu utvrđenu kod miskantusa uzgojenog iz presadnica (5,04 t/ha). Provedenim istraživanjem je utvrđeno kako oba istraživana sadna materijala miskantusa doprinose ublažavanju klimatskih promjena ali da prednost prilikom odabira sadnog materijala miskantusa bi trebalo dati presadnicama u odnosu na rizome.

Ključne riječi: klimatske promjene, biološka sekvestracija ugljika, miskantus, podzemna biomasa, nadzemna biomasa, rizomi, presadnice

Summary

Of the master's thesis – student Renato Stuparić, entitled

BALANCE OF SEQUESTERED CARBON IN MISCANTHUS BIOMASS FROM DIFFERENT PLANT MATERIALS

One of the possibilities to mitigate climate change is biological carbon sequestration, that represents the uptake of atmospheric carbon by plants through the process of photosynthesis. Energy crops like miscanthus (*Miscanthus x giganteus*), beside the production of significant amount of biomass available for energy production, also have a great sequestration potential. Therefore, the aim of this study is to determine the amount of carbon in miscanthus belowground and aboveground biomass, as well as balance of sequestered carbon in relation to two different planting materials (seedlings / rhizomes). The average amount of carbon in miscanthus cultivated from rhizomes amounts 11.51 t/ha in the above-ground biomass and 13.18 t/ha in the below-ground biomass. In miscanthus cultivated from seedlings, average amount of carbon amounts 9.87 t/ha in the above-ground biomass and 14.90 t/ha in the below-ground biomass. Statistical analysis did not determine a significant difference in the above- and below-ground carbon content between the studied planting materials. A positive and significantly different carbon balance was determined for both studied planting materials. Carbon balance of miscanthus cultivated from rhizomes was three times lower (1.66 t/ha) compared to miscanthus cultivated from seedlings (5.04 t/ha). The research showed that miscanthus cultivated from both studied planting materials contribute to climate change mitigation, but the preference during the selection of planting material should be given to seedlings compared to rhizomes.

Keywords: climate change, biological carbon sequestration, miscanthus, below-ground biomass, above-ground biomass, rhizomes, seedlings

1. Uvod

Klimatske promjene uzrokovane su oslobađanjem antropogenih stakleničkih plinova u atmosferu, a utječu na temperaturu zraka, količinu, raspored i intenzitet oborine, vlažnost tla, razinu mora itd. (Aydinalp i Cresser, 2008). Otkako je započela industrijska revolucija, prije otprilike 150 godina, ljudske aktivnosti su dovele do značajnog povećanja količine stakleničkih plinova u atmosferi. Prema izvještaju kojeg je IPCC predstavio 2001. godine koncentracija ugljikovog dioksida (CO_2) je porasla za 31 %, metana (CH_4) za 151 %, a dušikovog oksida (N_2O) za 17 % u razdoblju od 1750. do 2000. godine. Daljnje povećanje koncentracija tih plinova moglo bi dovesti do još većeg zagrijavanja, što će uvelike utjecati na cjelokupnu svjetsku klimu (Vijaya Venkata Raman i sur., 2012). Prema Gayathri i sur. (2021), zadnja predviđanja pokazuju da bi se temperatura zraka na Zemlji mogla povećati između $1,5\text{ }^\circ\text{C}$ i $5,9\text{ }^\circ\text{C}$ u sljedećih 25 godina zbog povećanja koncentracije CO_2 i drugih stakleničkih plinova u atmosferi.

Efekt staklenika je prirodan proces zagrijavanja Zemljine površine (slika 1.). Staklenički plinovi dopuštaju prolaz sunčevom zračenju do površine Zemlje, međutim vežu na sebe jedan dio zračenja koji se odbija nazad prema Suncu (infracrveno zračenje) i zadržavaju ga u atmosferi. CH_4 kao jedan od stakleničkih plinova, ima najveći potencijal zagrijavanja, otprilike 300 puta veći od CO_2 , te 20 puta veći od N_2O (Aydinalp i Cresser, 2008). Prema Tokgöz (2010), najveći udio u koncentraciji stakleničkih plinova ima CO_2 s 80 – 82 %. Zbog toga je najveća pažnja za smanjenjem stakleničkih plinova okrenuta upravo prema tom plinu. Ugljik se nalazi u svim živim organizmima i predstavlja jednu od glavnih građevnih jedinica života na Zemlji. U prirodi ugljik možemo naći u različitim oblicima, ponajviše u biomasi biljaka, u organskoj tvari tla, geološkim skladištima, te u obliku ugljikovog dioksida (CO_2) koji se nalazi u atmosferi i otopljen u morima. CO_2 se nalazi u Zemljinoj atmosferi u koncentraciji od 0,03 %. Važan je za biljke jer im omogućuje sintezu ugljikohidrata (polisaharida), proteina i lipida kroz proces fotosinteze. Količina CO_2 u 19. stoljeću bila je ispod 250 ppm, međutim od početka 20. stoljeća ta količina je počela rasti te je došla do razine od 419 ppm 2019. godine (Gayathri i sur., 2021). Izvori emisije CO_2 mogu biti prirodni i antropogeni. Prirodni izvori emisije CO_2 mogu biti, npr. erupcija vulkana (pepeo), smanjenje površine pod šumama uslijed ekstremnih vremenskih nepogoda

kao što su tornada, tajfuni, te pomicanje tektonskih ploča, siječa, požari. Pretpostavlja se da količina CO₂ koja se emitira tijekom jedne godine u Zemljinu atmosferu kroz vulkanske aktivnosti iznosi 0,13 Gt (USGS, 2010, Farely i sur., 2013). Antropogeni izvori emisije CO₂ u najvećoj mjeri obuhvaćaju sektore energetike, prometa i industrijskih procesa, odnosno aktivnosti poput izgaranja fosilnih goriva, proizvodnju tekstila, papira, plastike, metala i sl., neodgovarajućeg zbrinjavanja i spaljivanja otpada, ali i sektore poljoprivrede te korištenje zemljišta, promjene u korištenju zemljišta i šumarstvo (Gayathri i sur., 2021). Izgaranje fosilnih goriva kao što su ulja, ugljen i prirodni plin čini 87 % ukupnih antropogenih emisija CO₂, dok 9 % otpada na proces deforestacije i na promjenu korištenja zemljišta. Ostalih 4 % antropogenih emisija CO₂ otpada na industrijske procese (Le Quéré i sur., 2012, Mistry i sur., 2018). Prema Mistry i sur. (2018) korištenje ugljena za dobivanje energije emitira najveću količinu CO₂ u usporedbi s ostalim fosilnim gorivima, odnosno otprilike 2,5 t CO₂ za svaku tonu iskorištenog ugljena. Sektor poljoprivrede doprinosi s 10-20 % ukupnoj godišnjoj antropogenoj proizvodnji stakleničkih plinova, među kojima su najzastupljeniji ugljikov dioksid (CO₂), metan (CH₄), te didušik oksid (N₂O) (Aydinalp i Cresser, 2008). Klimatske promjene neće biti riješene kratkoročnim rješenjima, ali u sektoru poljoprivrede alternativni obnovljivi izvori energije te biološka sekvencijacija ugljika bi mogli biti dio dugoročnog rješenja (Robertson i sur. 2017).



Slika 1. Efekt staklenika

Izvor: <https://www.mozaweb.com/>

Sekvestracija ugljika predstavlja dugoročno skladištenje ugljika u oceanima, tlu, vegetaciji (pogotovo šumama), te geološkim formacijama. Oceansko uskladištenje uključuje utiskivanje CO₂ u oceane, obično na dubine veće od 3500 m. Otapanje CO₂ iz atmosfere u vodama prirodan je proces, no odvija se vrlo sporo. Na dubinama većim od 3500 m, CO₂ je u tekućem stanju i ima veću gustoću od morske vode, pa tone na veće dubine gdje reagira s morskom vodom i stvara blato koje se nakuplja na morskom dnu, te se zatim postupno otapa i dalje dispergira (Adams i Caldeira, 2008, Kolenković i Saftić, 2014). Ocean godišnje apsorbira 92 Gt C, dok se istovremeno kroz procese disanja i razlaganja organizma vrati 90 Gt C u atmosferu, što znači da ocean sekvestrira 2 Gt C (Raven i Falkowski, 1999, Farelly, 2013).

Biološka sekvestracija ugljika predstavlja usvajanje atmosferskog ugljika od strane biljaka kroz proces fotosinteze, pri čemu biljke ugrađuju atmosferski ugljik u svoju biomasu a jedan dio vraćaju u atmosferu procesom disanja (Prabhugouda i Kiran, 2017). Fotosintezu možemo podijeliti na dijela, svjetlosnu reakciju i reakciju u tami (Calvinov ciklus) (Mistry i sur., 2018). Fotosinteza je niz enzimski kataliziranih reakcija u kojima se energija svjetlosti pretvara u kemijsku energiju. U ovom procesu se kao osnovna sirovina koriste voda i CO₂, koji se transformiraju u glukozu. Glukoza nastala ovim procesom postaje temelj hranidbenog lanca, također kao nusprodukt ovog procesa nastaje kisik. Tijekom jednog ovakvog procesa iskorištava se šest molekula CO₂, što u konačnici dovodi do sekvestracije ugljika (Rajni i sur., 2019). Prirodna metoda sekvestracije ugljika (C) uključuje biljke i mikroorganizme, kao što su bakterije, alge, gljive i kvasce (Mistry i sur., 2018). Apsorpcija C u biljnu vegetaciju iznosi 123 Gt godišnje, međutim 60 Gt C se istovremeno vrati kroz stanično disanje biljaka. Također 60 Gt C se vrati u Zemljinu atmosferu kroz proces truljenja ukupne biomase, te kroz disanje ostalih organizama. Stoga, možemo zaključiti da rezultat sekvestracije ugljika u tlo iznosi 3 Gt na godišnjoj razini (Lal 2005, Farelly 2013). U istraživanju Baldocchi i Penuelas (2018) uspoređivana je sekvestracija C u 155 šumskih ekosustava. Tropske, zimzelene i širokolisne šume pokazale su najveći potencijal u skladištenju C u jednoj godini, od 2000 do 4000 g C/m². Razlog tomu je dovoljno velika količina oborine i njihov rast gotovo cijele godine. Većina promatranih ekosustava ima potencijal skladištenja od 100 do 2000 g C/m². Na sekvestraciju C uvelike utječu i hidrološki faktori (Law i sur., 2002). U prosjeku se godišnja količina sekvestriranog C povećava za $2,97 \pm 1,33$ g C/mm evaporacije. Prema tome zaključujemo da u

ekosustavu treba evaporirati 1000 mm vode u jednoj godini za sekvestraciju 3000 g C/m² (Baldocchi i Penuelas, 2018).

Prema Fawzy i sur. (2020), sekvestracija ugljika u poljoprivredi je proces hvatanja i skladištenja CO₂, a može se postići kroz promjenu agrotehničkih mjera s ciljem povećanja koncentracije ugljika u biomasi i tlu. Razina koncentracije ugljika u tlu je određena s količinom biomase koja se vraća u tlo, npr. unošenjem posliježetvenih ostataka biljaka, gnojdbom stajskim gnojem, te obradom tla. Postoje mnoge agrotehničke mjere koje pospješuju sekvestraciju ugljika, kao što su: izostavljena obrada tla (no-tillage), reducirana obrada tla, upotreba posliježetvenih ostataka i stajskog gnoja, organskih gnojiva te održivo upravljati vodnim resursima. Prema Valkama i sur., (2020), reducirana obrada tla donosi mnoge prednosti kao što su povećana bioraznolikost iznad i ispod površine tla, što utječe na bolje iskorištavanje vode i ostalih nutrijenata, te na kraju doprinosi boljoj sekvestraciji ugljika. Također, reducirana obrada tla smanjuje i potrošnju fosilnih goriva (11,2 %), a kod izostavljene obrade tla taj postotak je još i veći (Alluvione i sur., 2011). Sjetva pokrovnih kultura u voćnjacima pokazala je veliki potencijal u povećanju skladištenja C u tlu. Istraživanje u Španjolskoj je pokazalo da dodavanje pokrovnih usjeva u voćnjacima može povećati sekvestraciju C za 30 Tg u razdoblju od 100 godina. Iako ova mjera nije raširena, ona donosi i druge prednosti, kao što su smanjena eolska erozija tla te povećanje kapaciteta tla za vodu (Pardo i sur., 2016).

Energetski usjevi imaju potencijal zadovoljiti velike potrebe za energijom na svjetskoj razini, uz istovremeno veliki potencijal smanjenja količine atmosferskog CO₂. Kulture koje se mogu uzgajati kao energetski usjevi dijelimo u dvije skupine, brzorastuće drvenaste kulture i višegodišnje rizomatske trave. Među brzorastuće drvenaste kulture ubrajamo, npr. vrbu i topolu, dok u višegodišnje rizomatske trave ubrajamo divlje proso, trstasti blještac, divovsku trsku i miskantus. Prednost višegodišnjih trava u odnosu na drvenaste kulture je što brže formiraju nasad, stvaraju veću količinu biomase na kraju godine s vrlo malim udjelom vlage (Clifton-Brown i sur., 2007). Karakteristike takvih usjeva su dugogodišnje razdoblje eksploatacije, niski zahtjevi tijekom uzgoja, te mogućnost uzgoja na marginalnim tlima (Lemus i Lal, 2007). Jedna od višegodišnjih trava koja posjeduje spomenute karakteristike je miskantus (*Miscanthus x giganteus*). Miskantus je visokoproduktivna, sterilna, rizomatska višegodišnja trava koja je prikupljena 1935. u Japanu, od strane Aksel Olsena. Olsen ju je tada donio u Dansku gdje su postavljena prva pokusna polja i istraživanja, te je

od tamo proširena po cijeloj Europi (Lewandowski i sur., 2000). Potencijal miskantusa za skladištenje C je značajan, ponajviše zbog dugog razdoblja uzgoja, velike količine stvorene biomase i malih zahtjeva prema hranjivima i vodom. Temeljem provedenih istraživanja, utvrđeno je kako miskantus može u jednoj godini uskladištiti čak 2,2 t C /ha (Winkler i sur., 2020, McCalmont i sur., 2017), dok su Felten i Emerling (2012) u svom istraživanju provedenom u Njemačkoj na nasadu starom 16 godina utvrdili 17,7 t/ha uskladištenog ugljika na dubini tla od 60 cm u ukupnom životnom vijeku nasada.

Miscanthus x giganteus je triploidna višegodišnja biljka s debelim i jakim rizomima koji čine vrlo razgranat korijenov sustav te mjesto skladištenja pričuvnih tvari biljke. U plitkom površinskom sloju tla do 35 cm nalazi se 90 % korijenovog sustava, ali dio korijena prodire i dublje od 2 m u tlo (Monti i Zatta, 2009, Leto i sur., 2017). Stabljika može biti visoka do 3,5 m i promjera oko 10 mm. Lisna plojka duža je od 50 cm i široka oko 3 cm. Cvat je metlica duga oko 30 cm, ali ne proizvodi sjeme. Vrijeme cvatnje je između rujna i studenoga (Leto i sur., 2017). Miskantus se može vegetativno razmnožavati rizomima i presadnicama. Metoda razmnožavanja rizomima je jeftinija i omogućuje razvoj snažnijih i otpornijih biljaka od razmnožavanja presadnicama. Rizomi moraju imati 2 do 3 pupa te se moraju držati u uvjetima hladnog skladištenja (Caselin i sur., 2010). Rezultati istraživanja upućuju na najbolje rezultate zasnivanja usjeva miskantusa kod sadnje velikih, zdravih rizoma (oko 20 cm dužine), neskladištenih prije sadnje i posađenih na 20 cm dubine. Istraživanja također pokazuju da sadnja rizoma rezultira boljim rastom, većim sadržajem suhe tvari i boljim prezimljavanjem od sadnje biljaka dobivenih mikropropagacijom (Leto i sur., 2017). Za dobivanje presadnica koristi se tehnologija kulture tkiva (in vitro). Rokovi sadnje presadnica premještaju se u dio godine kad više nema opasnosti od smrzavanja. Prednost zasnivanja nasada miskantusa presadnicama je dulje vrijeme za pripremu tla i uklanjanje višegodišnjih korova (Leto i sur., 2017).

1.1. Cilj istraživanja

Cilj rada je utvrditi količinu ugljika u podzemnoj i nadzemnoj biomasi miskantusa te utvrditi bilancu sekvestriranog ugljika u odnosu na dva različita sadna materijala (presadnice/rizomi).

2. Materijali i metode

2.1. Lokacija istraživanja

Poljsko istraživanje provedeno je na pokušalištu Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta „Šašincev“ (N 45° 51' 01.32"; E 16° 10' 35.85") tijekom travnja 2021. godine. Pokušalište „Šašincev“ (slika 2) nalazi se u kopnenom dijelu sjeverozapadne Hrvatske, u blizini grada Zagreba, te obrađuje 76,2 ha poljoprivrednih površina. Za provođenje agrotehničkih zahvata, pokušalište raspolaže s potrebnom mehanizacijom. Na pokušalištu se proizvodi i dorađuje sjeme ozime i jare pšenice, ječma, zobi, kukuruza, soje i stočnog graška, a provode se i mnogi znanstveni pokusi (<https://www.agr.unizg.hr/>).



Slika 2. Pokušalište Šašincev

Izvor: <https://www.agr.unizg.hr/hr/>

2.2. Pokusno polje

Pokus je uspostavljen 2016. godine podizanjem nasada miskantusa korištenjem dvije vrste različitih sadnih materijala: rizoma (slika 3) i presadnica (slika 4).



Slika 3. Rizomi



Slika 4. Presadnice

(Izvor: Nikola Bilandžija, Sveučilište u Zagrebu Agronomski Fakultet)

Osnovna pokusna varijanta kod rizoma je površine 4 x 10 m, kao sadni materijal su korišteni rizomi iz Engleske i Hrvatske koji su ručno sađeni na razmak između i unutar redova od 1 m, i na dubinu od otprilike 15 cm. Kod varijante pokusa sa presadnicama, površina osnovne parcelice iznosi 2,4 x 10 m, korištene su presadnice s grudom supstrata uvezene iz Poljske koje su posađene adaptiranom sadilicom za povrće na razmak od 80 cm između i unutar redova. Za potrebe ovoga istraživanja uzorkovanje je provedeno na rizomima hrvatskog podrijetla. Na slici 5. prikazano je pokusno polje u 2021. godini.

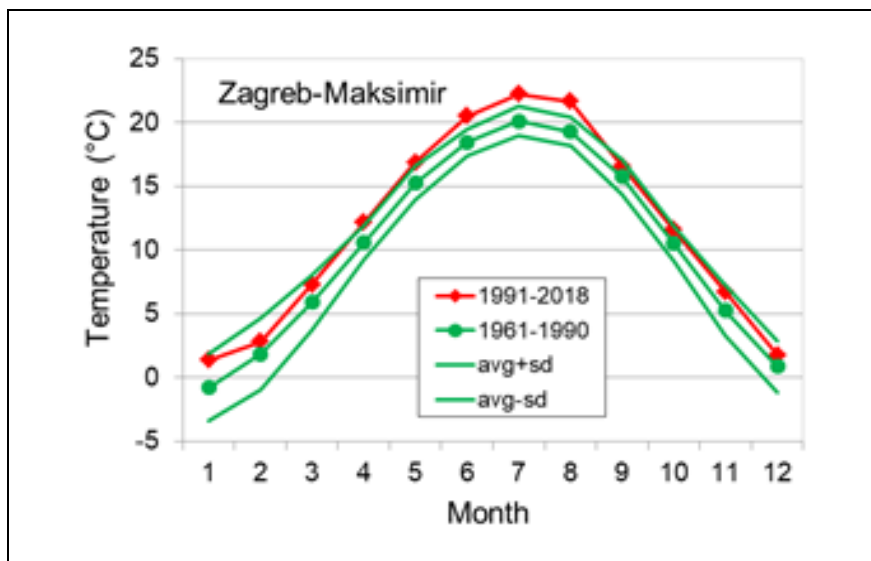


Slika 5. Pokusno polje miskantusa tijekom mirovanja vegetacije (proljeće, 2021)

(Izvor: Nikola Bilandžija, Sveučilište u Zagrebu Agronomski Fakultet)

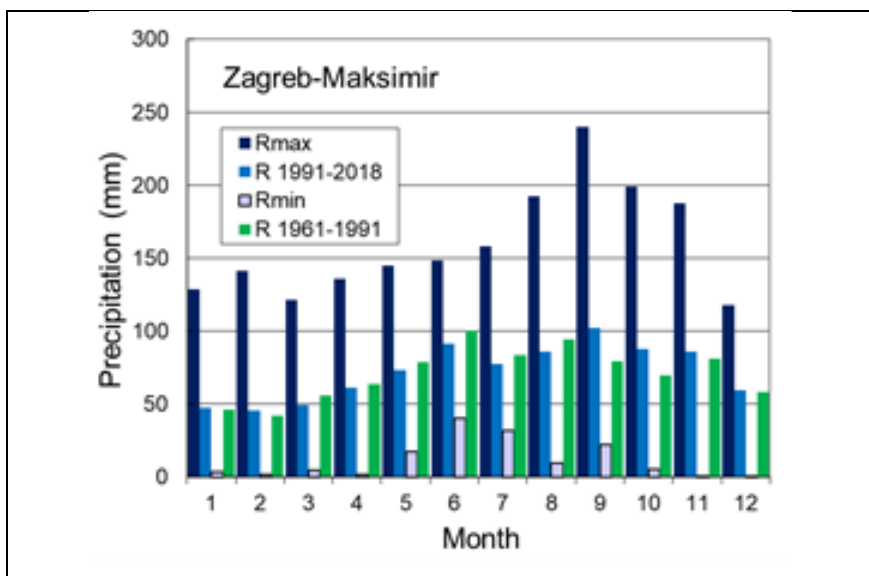
2.3. Klima

Područje istraživanja ima umjereno kontinentalnu klimu. Prema Köppenovoj klasifikaciji klime područje pokusa ima Cfwbx” klimu što znači da ga karakterizira umjereno topla kišna klima, tijekom godine nema izrazito suhih mjeseci. Mjesec s najmanje oborina javlja se u hladnijem dijelu godine i najtopliji mjesec ima prosječnu temperature ispod 22 °C, te se tijekom godine javljaju dva maksimuma oborina. Tijekom suvremenog razdoblja 1991-2018. godina, područje istraživanja odnosno područje grada Zagreba ima semihumidnu klimu, prosječna godišnja temperatura zraka iznosi 11,8 °C, prosječna godišnja količina oborine 867 mm, stvarna evapotranspiracija 618 mm, a suma temperaturnih jedinica tijekom vegetacijskog razdoblja iznosi 1615,5 °C (Bilandžija, 2019.). Na slikama 6, 7 i 8 prikazani su srednja mjesečna temperatura zraka, mjesečna količina oborine i bilanca vode na području istraživanja tijekom razdoblja 1991-2018.

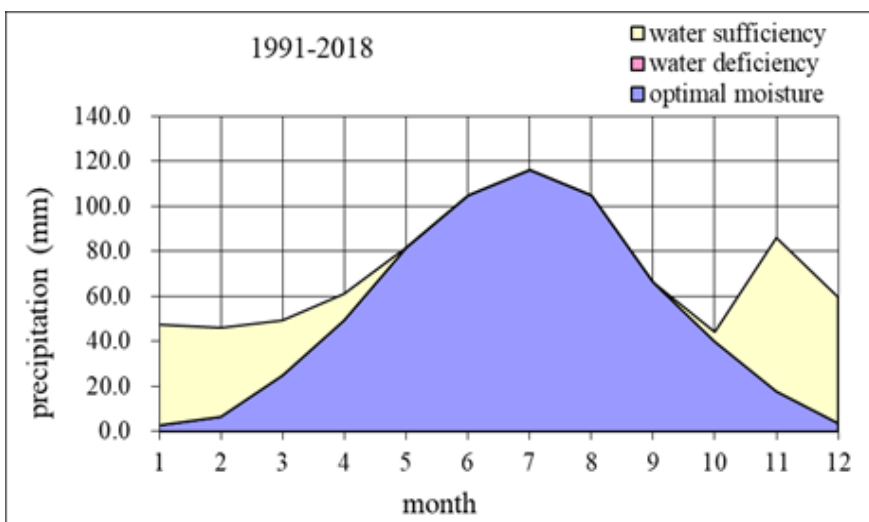


Slika 6. Srednja mjesečna temperatura zraka (1991-2018)

(izvor: Bilandžija D., 2019.)



Slika 7. Mjesečna količina oborine (1991-2018) (izvor: Bilandžija D., 2019.)



Slika 8. Bilanca vode (1991-2018) (izvor: Bilandžija D., 2019.)

2.4. Tlo

Uzorkovanje tla (slika 9) za potrebe utvrđivanja nultog stanja tla odnosno kemijskih svojstava tla na pokusnom polju prije njegove uspostave provedeno je 2016. godine u tri ponavljanja. Analiza uzoraka tla je provedena u analitičkom laboratoriju Sveučilišta u Zagrebu Zavoda za ishranu bilja. Analizom tla utvrđeni su reakcija tla (pH_{KCl}), sadržaj humusa, kalcijevog karbonata (CaCO_3), biljci pristupačnog fosfora (P_2O_5) i kalija (K_2O), te ukupnog dušika (N). Tlo na pokusnom polju je alkalne reakcije ($\text{pH}_{\text{KCl}}=7,26$), slabo humozno (1,88 %), slabo karbonatno (7,6 %), dobro opskrbljeno biljci pristupačnim kalijem (18,7 mg $\text{K}_2\text{O}/100$ g tla) i vrlo bogato opskrbljeno biljci pristupačnim fosforom (43,0 mg $\text{P}_2\text{O}_5/100$ g tla) te sadrži 0,11 % ukupnog dušika.



Slika 9. Uzorkovanje tla pokusnog polja

(Izvor: Josip Leto, Sveučilište u Zagrebu Agronomski Fakultet)

2.5. Uzorkovanje biomase

Uzorkovanje biljnog materijala provedeno je u ožujku 2021. godine na osnovnoj parcelici poljskog pokusa, slučajnim odabirom biljke razvijene iz jednog rizoma i jedne presadnice u tri ponavljanja.

2.5.1. Nadzemna biomasa

Uzorkovanje nadzemne biomase miskantusa je provedeno na površini od 1 m² (slika 10) odsijecanjem i vaganjem biljka (slika 11) na visini 10-15 cm od površine tla korištenjem motorne pile (slika 12). Uzorci su nakon vaganja sasjeckani na manje dijelove, spremljeni u vreće za uzorkovanje te dopremljeni na Agronomski fakultet u Zagrebu za daljnju laboratorijsku analizu biljnog materijala.



Slika 10. Košnja izboja

(Izvor: Nikola Bilandžija, Sveučilište u Zagrebu Agronomski Fakultet)



Slika 11. Vaganje nadzemne biomase

(Izvor: Nikola Bilandžija, Sveučilište u Zagrebu Agronomski Fakultet)



Slika 12. Uzorkovana površina

(Izvor: Nikola Bilandžija, Sveučilište u Zagrebu Agronomski Fakultet)

2.5.1. Podzemna biomasa

Uzorkovanje podzemnog dijela biomase provedenom je ručnim vađenjem (slika 13) cjelokupnog rizomatskog i korjenova sustava (slika 14) do približne dubine od 25 cm (slika 15). Uz podzemnu biomasu uzorkovano je i strnište kao dio biomase koji se žetvom ne iznosi. Nakon vađenja (slika 16) svi prikupljeni uzorci su isprani vodom (slika 17) te dopremljeni na Agronomski fakultet u Zagrebu na daljnja laboratorijska istraživanja.



Slika 13. Vađenje podzemnog dijela biljke

(Izvor: Nikola Bilandžija, Sveučilište u Zagrebu Agronomski Fakultet)



Slika 14. Površina uzorkovanja

(Izvor: Nikola Bilandžija, Sveučilište u Zagrebu Agronomski Fakultet)



Slika 15. Dubina uzorkovanja

(Izvor: Nikola Bilandžija, Sveučilište u Zagrebu Agronomski Fakultet)



Slika 16. Grubi uzorak podzemne biomase sa strništem

(Izvor: Nikola Bilandžija, Sveučilište u Zagrebu Agronomski Fakultet)



Slika 17. Ispiranje tla s podzemne biomase

(Izvor: Nikola Bilandžija, Sveučilište u Zagrebu Agronomski Fakultet)

2.6. Laboratorijska istraživanja

U analitičkom laboratoriju Zavoda za opću proizvodnju bilja Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta provedena je priprema uzoraka biljnog materijala za laboratorijske analize odnosno za potrebe određivanja suhe tvari i sadržaja ukupnog ugljika u uzorcima podzemne i nadzemne biomase. Sadržaj ukupnog ugljika određen je simultano, metodom suhog spaljivanja. Uzorci biljnog materijala osušeni su do konstantne mase u sušioniku (Nüve, FN 120) (slika 18.) na 105 °C i izvagani (Sartorius CP 64; d= 0,1 mg) u kositrene folijice (50 mg ± 2 mg) koje su zatvorene i oblikovane u tablete te posložene u autosampler Vario, Macro CHNS analizatora (Elementar, 2006) (slika 19.). Sadržaj ukupnog ugljika određen je prema protokolu koji je normiran HRN ISO 10694:2004.



Slika 18 Sušionik

(Izvor: Darija Bilandžija, Sveučilište u Zagrebu Agronomski Fakultet)



Slika 19. Vario, Macro CHNS analizator

(Izvor: Darija Bilandžija, Sveučilište u Zagrebu Agronomski Fakultet)

2.7. Bilanca ugljika

Bilanca ugljika je razlika svih priliva i odliva ugljika u nekom ekosustavu. Osim respiratornih tokova ugljika obuhvaća i nerespiratorne procese gubitka ugljika iz ekosustava (npr. žetve, požari, itd.), te predstavlja konačnu bilancu ugljika u ekosustavima. Zalihe ugljika u pojedinim sastavnicama se mijenjaju tijekom životnog vijeka ekosustava kao posljedica akumulacije organske tvari kroz proces rasta žive biomase te razgradnje mrtve organske tvari (Ostrogović, 2013). Bilanca ugljika u ovome radu predstavlja razliku između unošenja ugljika u agroekosustav odnosno količinu ugljika u podzemnoj biomasi koja ostaje u agroekosustavu te iznošenja ugljika iz agroekosustava žetvom nadzemne biomase:

$$\text{bilanca C (t/ha)} = \text{unošenje C (t/ha)} - \text{iznošenje C (t/ha)}$$

2.8. Statistička obrada podataka, upravljanje i kontrola kvalitete rezultata

Za sve analize podataka korišten je programski paket SAS (SAS Institute, 2002.-2004.). Varijabilnost između pokusnih varijanata je analizirana analizom varijance (ANOVA) i testirana ukoliko je bilo potrebno post-hoc (Fisher) t testom. Prag značajnosti za sve analize iznosi 5 %. U analitičkom laboratoriju Zavoda za Opću proizvodnju bilja provode se propisani postupci provjere, točnosti i preciznosti mjerenja korištenjem referentnih materijala i ponavljanja pojedinih mjerenja unutarnjom i vanjskom kontrolom.

3. Rezultati i rasprava

3.1. Sadržaj suhe tvari i ugljika u biomasi miskantusa

Statističkom analizom varijance (tablica 1) utvrđeno je da nema statistički značajne razlike između istraživanih sadnih materijala miskantusa za sadržaj suhe tvari u nadzemnoj ($p=0,0551$), podzemnoj ($p=0,2154$) i ukupnoj ($p=0,447$) biomasi. Također, utvrđeno je kako nema statistički značajne razlike između istraživanih sadnih materijala miskantusa za sadržaj ugljika u nadzemnoj ($p=0,1115$), podzemnoj ($p=0,1962$) i ukupnoj ($p=0,4366$) biomasi (tablica 1.)

Tablica 1. Rezultati analize varijance za sadržaj suhe tvari i ugljika u biomasi miskantusa

Izvor varijabilnosti	Stupnjevi slobode	Suma kvadrata	Srednja kvadratna vrijednost	F	P	R ²	c _v
NADZEMNA BIOMASA							
Suha tvar							
Varijanta	1	2,99626667	2,99626667	7,19	0,0551	0,64262	5,13063
Pogreška	4	1,66633333	0,41658333				
Ukupno	5	4,6626					
Ugljik							
Varijanta	1	0,53401667	0,53401667	4,14	0,1115	0,50884	6,38944
Pogreška	4	0,51546667	0,12886667				
Ukupno	5	1,04948333					
PODZEMNA BIOMASA							
Suha tvar							
Varijanta	1	23,88015	23,88015	2,16	0,2154	0,35093	10,5709
Pogreška	4	44,1686	11,04215				
Ukupno	5	68,04875					
Ugljik							
Varijanta	1	4,47206667	4,47206667	2,4	0,1962	0,37508	9,72094
Pogreška	4	7,45093333	1,8627333				
Ukupno	5	11,923					
UKUPNA BIOMASA							
Suha tvar							
Varijanta	1	9,95881667	9,95881667	0,71	0,447	0,15067	8,51148
Pogreška	4	56,1399333	14,03498333				
Ukupno	5	66,09875					
Ugljik							
Varijanta	1	1,91535	1,91535	0,75	0,4366	0,15712	8,15307
Pogreška	4	10,2753333	2,56883333				
Ukupno	5	12,1906833					

3.1.1. Nadzemna biomasa

U tablici 2. prikazan je sadržaj suhe tvari i ugljika u nadzemnoj biomasi miskantusa (t/ha) u odnosu na vrstu sadnog materijala. Prosječan sadržaj suhe tvari u nadzemnoj biomasi kod miskantusa uzgojenog iz rizoma iznosi 25,86 t/ha, a kretao se u rasponu od 24,71 - 27,43 t/ha. Prosječan sadržaj suhe tvari u nadzemnoj biomasi kod miskantusa uzgojenog iz iz presadnica iznosi 22,04 t/ha te se kretao u rasponu od 21,19 - 23,21 t/ha. U usporedbi s dobivenim podacima, Bilandžija i sur. (2018.) u istraživanju na lokaciji Medvednica utvrđuju prosječni sadržaj suhe tvari u nadzemnoj biomasi miskantusa od 25,84 t/ha. Clifton-Brown i sur. (2007.) tijekom petnaestogodišnjeg razdoblja utvrđuju prosječni sadržaj suhe tvari u nadzemnoj biomasi od $9,0 \pm 0,7$ t/ha, a Kahle i sur., (2001) u svojem istraživanju utvrđuju sadržaj suhe tvari u nadzemnoj biomasi od 6,2 do 19,8 t/ha. Himken i sur. (1997.) utvrđuju sadržaj suhe tvari u nadzemnoj biomasi od 16-18 t/ha u zapadnoj Njemačkoj. Gauder i sur. (2012.) provode istraživanje na 15 genotipova miskantusa, te utvrđuju sadržaj suhe tvari u nadzemnoj biomasi miskantusa (*Miscanthus x Giganteus*) od 12,6 do 14,1 t/ha. Zub i sur. (2011.) utvrđuju prosječan sadržaj suhe tvari u nadzemnoj biomasi od 18,96 t/ha u Francuskoj. Amougou i sur. (2011.) u istraživanju također provedenom u Francuskoj utvrđuju sadržaj suhe tvari u nadzemnoj biomasi između 14-26 t/ha. Dohleman i sur. (2012.) utvrđuju sadržaj suhe tvari u nadzemnoj biomasi iznosi 38,1 t/ha na zimskom roku žetve provedene u prosincu, a na istom roku žetve su Heaton i sur. (2008.) utvrđuju prosječan sadržaj suhe tvari u nadzemnoj biomasi od 29,6 t/ha. Prosječan sadržaj suhe tvari zabilježen kod Dohleman i sur., (2012) te kod Heaton i sur., (2008). uvelike se razlikuju zbog različitih rokova žetve.

Prosječan udio ugljika u nadzemnom dijelu kreće se od 44,03 do 45,33 % kod rizoma, dok je kod presadnica između 44,37 % i 45,07 %. Slične rezultate bilježe Bilandžija i sur., (2018) u svom istraživanju na četverogodišnjem nasadu, te utvrđuju udio ugljika u nadzemnom dijelu od $48,596 \pm 0,412$ % u jesenskom žetvenom roku, odnosno $49,496 \pm 0,156$ % u proljetnom žetvenom roku. Khodier i sur., (2012) utvrđuju u istraživanju provedenom u Velikoj Britaniji udio ugljika od 43,59 %, dok su Vassilev i sur., (2010) utvrđuju udio ugljika od 49,2 %. Robertson i sur., (2016) utvrđuju u istraživanju provedenom u Velikoj Britaniji na sedmogodišnjem nasadu udio ugljika u stabljici od $47,72 \pm 0,22$ %, dok je udio ugljika u listu bio $45,85 \pm 0,56$ u proljetnom roku žetve.

Sadržaj ugljika u nadzemnoj biomasi miskantusa uzgojenog iz rizoma kreće se od 10,88 do 12,44 t/ha, a kod miskantusa uzgojenog iz presadnica sadržaj ugljika u nadzemnoj biomasi kreće se od 9,47 do 10,46 t/ha. Srednja vrijednost sadržaja ugljika u nadzemnoj biomasi miskantusa iz rizoma je 11,51 t/ha, a iz presadnica 9,87 t/ha. Bilandžija i sur. (2021) zabilježili su slične rezultate u svojim istraživanju te utvrđuju sadržaj ugljika u iznosu od 15,7 t/ha u nadzemnoj biomasi, te akumulaciju ugljika tijekom 20 godina u iznosu od 288,5 t/ha. Slične rezultate utvrđuju i Carvalho i sur., (2017) u svom istraživanju, te sadržaj ugljika u nadzemnoj biomasi u četvrtoj godini nasada iznosi 14,3 t/ha.

Tablica 2. Sadržaj suhe tvari i ukupnog ugljika u nadzemnoj biomasi miskantusa

	ponavljanje	ST (t/ha)	C (%)	C (t/ha)
Rizomi	1	25,45	44,11	11,23
	2	24,71	44,03	10,88
	3	27,43	45,33	12,44
	sr	25,86	44,49	11,51 A
	rsd	5,45	1,64	7,10
Presadnice	1	21,19	44,68	9,47
	2	23,21	45,07	10,46
	3	21,72	44,63	9,69
	sr	22,04	44,79	9,87 A
	rsd	4,75	0,54	5,27

(ST-suha tvar, C-organski ugljik, sr-srednja vrijednost, rsd-relativna standardna devijacija)
(srednje vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite pri $p \leq 0,05$)

3.1.2. Podzemna biomasa

Sadržaj suhe tvari u podzemnom dijelu kreće se od 25,85 do 31,58 t/ha s prosjekom od 29,44 t/ha kod miskantusa uzgojenog iz rizoma, dok se kod miskantusa uzgojenog iz presadnica kreće od 29,51 do 36,27 s prosjekom od 33,43 t/ha (tablica 3.). Slične rezultate u svojem istraživanju u Njemačkoj utvrđuju Kahle i sur., (2001) te njihovi rezultati sadržaja suhe tvari podzemnog dijela miskantusa može varirati između 15 – 25 t/ha u nasadima starim između 4 i 9 godina. Himken i sur. (1997) utvrđuju podzemni sadržaj suhe tvari miskantusa od 16 t/ha na području zapadne Njemačke u istraživanju provedenom u travnju. Također utvrđuju smanjenje suhe tvari na razinu od 13 t/ha do kolovoza tekuće godine. U zapadnom dijelu Njemačke, Neukirchen i sur. (1999) utvrđuju sadržaj suhe tvari u iznosu od 11,5 t/ha tijekom žetve obavljene u ožujku. Clifton-Brown i sur. (2007.) utvrđuju sadržaj suhe tvari u podzemnom dijelu od $20,7 \pm 4,6$ t/ha u istraživanju provedenom u Irskoj, te su uspoređeni s rezultatima dobivenim u MISCANMOD modelu. Richter i sur. (2015) tijekom četrnaestogodišnjeg istraživanja utvrđuju sadržaj suhe tvari u iznosu od $11,4 \pm 3,3$ t/ha. Hansen i sur. (2004.) u istraživanju provedenom u Danskoj utvrđuju podzemni sadržaj suhe tvari u rasponu od 10,9 do 12,6 t/ha na dubini do 20 cm. Beuch (1995., navedeno u Hansen, 2004.) utvrđuje podzemni sadržaj suhe tvari od 13 t/ha u petogodišnjem nasadu. Amougou i sur. (2011.) utvrđuju podzemni sadržaj suhe tvari miskantusa između 11-20 t/ha u sjevernoj Francuskoj. Christiansen i sur., (2016) tijekom istraživanja provedenom u Danskoj utvrđuje sadržaj suhe tvari u podzemnom dijelu između 16,6 i 18 t/ha u na dubini od 20 cm. Dohleman i sur., (2012) u istraživanju provedenom u saveznoj državi Illinois (SAD) utvrđuju sadržaj suhe tvari u iznosu od 27,1 t/ha na dubini do 25 cm. Prosječan udio ugljika u podzemnom dijelu kreće se od 44,37 do 45,07 % kod rizoma, dok je kod presadnica između 44,20 % i 45,42 %.

Sadržaj ugljika u podzemnoj biomasi miskantusa iz rizoma kreće se od 11,61 do 14,01 t/ha, a kod presadnica se sadržaj ugljika u nadzemnoj biomasi kreće od 13,40 do 16,06 t/ha. Srednja vrijednost sadržaja ugljika u nadzemnoj biomasi miskantusa iz rizoma je 13,18 t/ha, a iz presadnica 14,90 t/ha. Manji sadržaj ugljika u usporedbi s dobivenim rezultatima utvrđuju Christiansen i sur. (2016.) koji u istraživanju provedenom u Francuskoj utvrđuju sadržaj ugljika u podzemnom dijelu u iznosu od 6,1 t/ha, dok Amougou i sur. (2011.) utvrđuju sadržaj ugljika u podzemnoj biomasi u količini od 7,5-10 t/ha, u sjevernom dijelu Francuske. Mann i sur. (2012.) u istraživanju

provedenom u SAD-u (California) utvrđuju udio ugljika od 36,8 t/ha u navodnjavanom nasadu miskantusa. Dohleman i sur. (2012.) utvrđuju sadržaj ugljika od 45,7 %, odnosno 9,83 t/ha, dok Beuch i sur. (2000.) utvrđuju sadržaj ugljika u podzemnom dijelu od 9,1 t/ha.

Tablica 3. Sadržaj suhe tvari i ugljika u podzemnoj biomasi miskantusa

	Ponavljanje	ST (t/ha)	C (%)	C (t/ha)
Rizomi	1	31,58	44,37	14,01
	2	25,85	44,89	11,61
	3	30,89	45,07	13,92
	sr	29,44	44,78	13,18 A
	rsd	10,62	0,81	10,35
Presadnice	1	29,51	45,42	13,40
	2	34,51	44,20	15,25
	3	36,27	44,28	16,06
	sr	33,43	44,63	14,90 A
	rsd	10,49	1,53	9,14

(ST-suha tvar, C-organski ugljik, sr-srednja vrijednost, rsd-relativna standardna devijacija)
(srednje vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite pri $p \leq 0,05$)

3.1.3. Ukupna biomasa

U tablici 4 prikazan je prosječan ukupan sadržaj suhe tvari u biomasi miskantusa uzgojenog iz rizoma i presadnica odnosno zbroj nadzemna i podzemna biomase miskantusa. Prosječan ukupan sadržaj suhe tvari kreće se od 50,56 do 58,32 t/ha, s prosjekom od 55,30 t/ha. Kod miskantusa uzgojenog iz presadnica prosječan ukupan sadržaj suhe tvari kreće se od 50,7 do 57,99 t/ha, s prosjekom od 55,47 t/ha. Dohleman i sur. (2012.) ustanovili su ukupni sadržaj suhe tvari od 81,4 t/ha tijekom žetve u prosincu. Prosječan odnos sadržaja suhe tvari u nadzemnom i podzemnom dijela miskantusa iznosi 48,52 % (nadzemni) i 51,48 % (podzemni), dok je kod presadnica taj odnos 39,73 % (nadzemni) i 60,27 % (podzemni). Prosječan ukupan udio ugljika u ukupnoj biomasi miskantusa uzgojenog iz rizoma kreće se od 44,24 % do 45,20 % s prosjekom od 44,63 %. Prosječan ukupan udio ugljika kod miskantusa uzgojenog iz presadnica kreće se od 44,46 % do 45,05 %, s prosjekom od 44,71 %. Prosječan sadržaj ugljika u ukupnoj biomasi miskantusa uzgojenog iz rizoma kreće se od 22,48 do 26,36 t/ha, s prosjekom od 24,69 t/ha. Prosječan ukupan sadržaj ugljika kod miskantusa uzgojenog iz presadnica kreće se od 22,87 do 25,75 t/ha, s prosjekom od 24,78 t/ha. Prosječan odnos sadržaja ugljika u nadzemnom i podzemnom dijelu miskantusa uzgojenog iz rizoma iznosi 46,63 % (nadzemni) prema 53,4 % (podzemni), dok je kod miskantusa uzgojenog iz presadnica taj odnos 39,83 % (nadzemni) prema 60,18 % (podzemni).

Tablica 4. Sadržaj suhe tvari i ugljika u ukupnoj biomasi miskantusa

	Ponavljanje	ST (t/ha)	C (%)	C (t/ha)
Rizomi	1	57,02	44,24	25,24
	2	50,56	44,46	22,48
	3	58,33	45,20	26,36
	sr	55,30	44,63	24,69 A
	rds	7,52	1,03	8,07
Presadnice	1	50,70	45,05	22,87
	2	57,71	44,64	25,71
	3	57,99	44,46	25,75
	sr	55,47	44,71	24,78 A
	rds	7,45	0,68	6,67

(ST-suha tvar, C-organski ugljik, sr-srednja vrijednost, rds – relativna standardna devijacija)
(srednje vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite pri $p \leq 0,05$)

3.2. Bilanca ugljika

Statističkom analizom varijance (tablica 5) utvrđeno je da postoji statistički značajna razlika ($p=0,0226$) u bilanci ugljika između istraživanih sadnih materijala

Tablica 5. Rezultati analize varijance za bilancu ugljika

Izvor varijabilnosti	Stupnjevi slobode	Suma kvadrata	Srednja kvadratna vrijednost	F	P	R ²	c _v
Varijanta	1	16.96801667	16.96801667	13.02	0.0226	0.765025	34.05630
Pogreška	4	5.21166667	1.30291667				
Ukupno	5	22.17968333					

Provedenom analizom za oba istraživana sadna materijala utvrđena je pozitivna bilanca ugljika. Sadržaj ugljika koji ostaje u agroekosustavu kod miskantusa uzgojenog iz rizoma iznosi 1,67 t/ha, dok kod miskantusa uzgojenog iz presadnica 5,03 t/ha odnosno sekvestracijski potencijal miskantusa uzgojenog iz presadnica je tri puta veći od sekvestracijskog potencijala miskantusa uzgojenog iz rizoma. Značajnoj razlici u sekvestracijskom potencijalu pridonijela je razlika u morfološkom razvoju biljaka miskantusa uzgojenog dijeljenjem rizoma i mikropropagacijom (presadnicama). Iako nisu utvrđene statistički značajne razlike u sadržaju ugljika u podzemnoj i nadzemnoj biomasi između istraživanih sadnih materijala, kod miskantusa uzgojenog iz presadnica utvrđen je veći sadržaj ugljika u podzemnoj biomasi i manji sadržaj ugljika u nadzemnoj biomasi u odnosu na miskantus uzgojen iz rizoma što je na posljepku značajno utjecalo na ukupnu bilancu.

Tablica 6. Bilanca ugljika miskantusa u odnosu na različite sadne materijale

	Ponavljanje	Unošenje ugljika (t/ha)	Iznošenje ugljika (t/ha)	Sekvestrirani ugljik (t/ha)
Rizomi	1	14,01	11,23	2,79
	2	11,61	10,88	0,73
	3	13,92	12,44	1,49
	sr	13,18	11,51	1,67 A
	rsd	1,36	0,82	62,48
	Presadnice	1	13,40	9,47
2		15,25	10,46	4,79
3		16,06	9,69	6,37
sr		14,90	9,87	5,03
sd		1,36	0,52	24,47 B

(sr-srednja vrijednost, rsd – relativna standardna devijacija),

(srednje vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite pri $p \leq 0,05$)

Lewandowski (1998) je utvrdila značajne razlike u morfološkom razvoju miskantusa uzgojenog iz rizoma i presadnica. Utvrđena razlika očitovala se u debljini grana kao i u broju te jačini izdanaka. Biljke razmnožene rizomom imale su manji broj, ali jače i deblje izboje te niži prinos u odnosu na biljke uzgojene iz presadnica (Lewandowski, 1998, Lewandowski i Kicherer, 1997). U usporedbi s dobivenim rezultatima, Nakajima i sur. (2018.) su utvrdili u istraživanju provedenom u Japanu sadržaj sekvestriranog ugljika u prosječnom iznosu od $1,96 \pm 0,82$ t/ha godišnje, tijekom razdoblja od 6 godina, dok Hansen i sur. (2004.) utvrđuju sadržaj sekvestriranog ugljika u rasponu od 0,78 – 1,12 t/ha godišnje u Danskoj. Dondini i sur. (2009.) u svom istraživanju provedenom u Irskoj utvrđuju mogućnost sekvestracije ugljika rasponu od 2 – 3 t/ha godišnje. Istraživanje Zimmerman i sur., (2011) pokazuje da na bilancu ugljika značajno utječe pH tla, način obrade tla prije podizanja nasada, udio gline u tlu, početni sadržaj ugljika te klima. Mishra i sur., (2012) u svom istraživanju utvrđuju mogućnost sekvestracije ugljika u rasponu od 0,87 – 4,5 t/ha godišnje na području SAD-a, te je utvrđeno je da na veliki raspon u količini sekvestracije ugljika u istraživanju ponajviše utječe različiti raspored oborina, broj sunčanih dana, temperatura te sunčevo zračenje.

4. Zaključak

Temeljem provedenog istraživanja na nasadu miskantusa starosti 5 godina do 25 cm dubine može se zaključiti slijedeće:

- prosječna količina ugljika u nadzemnoj biomasi miskantusa iznosila je 11,51 t/ha kod miskantusa uzgojenog iz rizoma, dok je kod miskantusa uzgojenog iz presadnica količina ugljika iznosila 13,18 t/ha. Statističkom analizom nije utvrđena značajna razlika između istraživanih sadnih materijala za sadržaj ugljika u nadzemnoj biomasi.
- prosječna količina ugljika u podzemnoj biomasi kod miskantusa uzgojenog iz rizoma iznosila je 9,87 t/ha, dok je kod miskantusa uzgojenog iz presadnica iznosila 14,90 t/ha. Statističkom analizom nije utvrđena značajna razlika između istraživanih sadnih materijala za sadržaj ugljika u podzemnoj biomasi.
- bilanca ugljika kod oba istraživana sadna materijala je pozitivna i iznosi 1,66 t/ha kod miskantusa uzgojenog iz rizoma i 5,04 t/ha kod miskantusa uzgojenog iz presadnica. Utvrđena je statistički značajna razlika u bilanci ugljika između istraživanih sadnih materijala.
- oba istraživana sadna materijala miskantusa doprinose ublažavanju klimatskih promjena ali prednost prilikom odabira sadnog materijala bi trebalo dati presadnicama u odnosu na rizome u istraživanim agroklimatskim uvjetima iako su nedostatci ovakvog načina razmnožavanja miskantusa veća ulaganja i troškovi u odnosu na proizvodnju rizoma.

Literatura

1. Adams, E.E. i Caldeira, K. (2008). Ocean Storage of CO₂, *Elements*, 5/4,325-331.
2. Alluvione, F., Moretti, B., Sacco, D., Grignani, C. (2011). EUE (energy use efficiency) of cropping systems for a sustainable agriculture, *Energy* 36 4468e4481.
3. Amougou, N., Bertrand, I., Machet, J.M., Recous, S. (2011). Quality and decomposition in soil of rhizome, root and senescent leaf from *Miscanthus x giganteus*, as affected by harvest date and N fertilization. *Plant and Soil*, 338 (1), 83-97.
4. Aydinalp, C., Cresser, M.S. (2008). The Effects of Global Climate Change on Agriculture, *American-Euroasian J. Agric & Environ. Sci.*, 3 (5): 672-676.
5. Baldocchi, D., Penuelas, J. (2018). The physics and ecology of mining carbon dioxide from the atmosphere by ecosystems. *Glob Change Biol.*; 25:1191–1197.
6. Beuch S. Verluste und Rückstände an Biomasse beim Anbau von *Miscanthus x giganteus* (Greef et. Deu.). *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaft* 1995;8:311–4. (navedeno u Hansen 2004.).
7. Beuch, S., Boelcke, B., Belau, L. (2000). Effect of the Organic Residues of *Miscanthus x giganteus* on the Soil Organic Matter Level of Arable Soils. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 184(2), 111–120.
8. Bilandžija, D. (2019). Spatio-Temporal Climate and Agroclimate Diversities over the Zagreb City Area. *Geographica Pannonica*, 23(4), 385–397. DOI: 10.5937/gp23-24253
9. Bilandžija, D., Bilandžija, N., Zgorelec Ž. (2021). Sequestration potential of energy crop *Miscanthus x giganteus* cultivated in continental part of Croatia. *Journal of Central European Agriculture*, 22(1), p.188-200.
10. Bilandžija, N., Voca, N., Jelcic, B., Jurisic, V., Matin, A., Grubor, M., Kricka, T. (2018). Evaluation of Croatian agricultural solid biomass energy potential. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 93, 225-230.

11. Carvalho, J. L. N., Hudiburg, T. W., Franco, H. C. J., & DeLucia, E. H. (2017). Contribution of above- and belowground bioenergy crop residues to soil carbon. *GCB Bioenergy*, 9(8), 1333–1343.
12. Caselin, B., Finnan, J., McCracken, A. (2010). *Miscanthus Best Practices Guidelines*. Teagasc and the Agri-Food and Bioscience Institute.
13. Christensen, B. T., Lærke, P. E., Jørgensen, U., Kandel, T. P., & Thomsen, I. K. (2016). Storage of *Miscanthus*-derived carbon in rhizomes, roots, and soil. *Canadian Journal of Soil Science*, 96(4), 354–360.
14. Clifton-Brown, J. C., Breuer, J., Jones, M. B. (2007). Carbon mitigation by the energy crop, *Miscanthus*, *Global Change Biology* 13, 2296–2307.
15. Dohleman, F. G., Heaton, E. A., Arundale, R. A., & Long, S. P. (2012). Seasonal dynamics of above- and below-ground biomass and nitrogen partitioning in *Miscanthus x giganteus* and *Panicum virgatum* across three growing seasons. *GCB Bioenergy*, 4(5), 534–544.
16. Dondini, M., Hastings, A., Saiz, G., Jones, M. B., Smith, P. (2009). The potential of *Miscanthus* to sequester carbon in soils: comparing field measurements in Carlow, Ireland to model predictions. *GCB Bioenergy*, 1(6), 413–425.
17. Farelly, D. J., Everard, C. D., Fagan, C. C., McDonnell, K. P. (2013). Carbon sequestration and the role of biological carbon mitigation: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 21, 712–727.
18. Fawzy, S., Osman, A. I., Doran, J., Rooney D. W. (2020). Strategies for mitigation of climate change: a review, *Environmental Chemistry Letters*.
19. Felten, D., i Emmerling, C. (2012). Accumulation of *Miscanthus*-derived carbon in soils in relation to soil depth and duration of land use under commercial farming conditions. *J Plant Nutr Soil Sci*; 175:661–70.
20. Gauder, M., Graeff-Hönninger, S., Lewandowski, I., Claupein W. (2012). Long-term yield and performance of 15 different *Miscanthus* genotypes in Southwest Germany. *Ann Appl Biol*, 160, 126-136.
21. Gayathri, R., Mahboob, S., Govindarajan, M., Al-Ghanim, K. A., Ahmed, Z., Al-Mulhm N., Vodovnik M., Vijayalakshmi, S. (2021). A review on biological carbon sequestration: A sustainable solution for a cleaner air environment, less pollution and lower health risks, *Journal of King Saud University – Science* 33 101282.

22. Hansen, E.M., Christensen, B.T., Jensen, L.S., Kristensen, K. (2004). Carbon sequestration in soil beneath long-term *Miscanthus* plantations as determined by ¹³C abundance. *Biomass and Bioenergy*, 26, 97–105.
23. Heaton, E. A., Dohleman, F. G., & Long, S. P. (2008). Meeting US biofuel goals with less land: the potential of *Miscanthus*. *Global Change Biology*, 14(9), 2000–2014.
24. Himken, M., Lammel, J., Neukirchen, D., Czymionka-Krauze, U., Olf, H.W. (1997). Cultivation of *Miscanthus* under West European conditions: seasonal changes in dry matter production, nutrient uptake and remobilization. *Plant and Soil*, 189, 117–126.
25. HRN ISO 10694 2004 Kakvoća tla -- Određivanje organskoga i ukupnog ugljika suhim spaljivanjem (elementarna analiza) (ISO 10694:1995)
26. Kahle, P., Beuch, S., Boelcke, B., Leinweber, P., Schulte, H.R. (2001). Cropping of *Miscanthus* in Central Europe: biomass production and influence on nutrients and soil organic matter. *European Journal of Agronomy*, 15, 171–184.
27. Khodier, A. H. M., Hussain, T., Simms, N. J., Oakey, J. E., & Kilgallon, P. J. (2012). Deposit formation and emissions from co-firing *Miscanthus* with Daw Mill coal: Pilot plant experiments. *Fuel*, 101, 53–61.
28. Kolenković, I. i Saftić, B. (2014). Geološko skladištenje ugljičnog dioksida, Rudarsko-geološki-naftni zbornik, Vol. 28, str 9-22.
29. Lal R. (2005). Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management*; 220:242–58.
30. Law, B. E., Falge, E., Gu, L., Baldocchi, D., Bakwin, P., Berbigier, P., Davis, K., Dolman, A. J., Falk, M., Fuentes, J., Goldstein, A., Granier, A., Grelle, A., Hollinger D., Janssens, I. A., Jarvis, P., Jensen N. O., Katul, G., Mahli, Y., Matteucci, G., Meyers, T., Monson, R., Munger, W., Oechel, W., Olson, R., Pilegaard, K., Paw U, K. T., Thorgiersson, H., Valentini, R., Verma, S., Vesala, T., Wilson, K., Wofsy, S. (2002). Environmental controls over carbon dioxide and water vapor exchange of terrestrial vegetation, *Agricultural and Forest Meteorology* 113, 97–120.
31. Le Quéré, C., Andres, R.J., Boden, T., Conway, T., Houghton, R.A., House, J.I., Marland, G., Peters, G.P., van der Werf, G., Ahlström, A., Andrew, R.M., Bopp,

- L., Canadell, J.G., Ciais, P., Doney, S.C., Enright, C., Friedlingstein, P., Huntingford, C., Jain, A.K., Jourdain, C., Kato, E., Keeling, R.F., Klein Goldewijk, K., Levis, S., Levy, P., Lomas, M., Poulter, B., Raupach, M.R., Schwinger, J., Sitch, S., Stocker, B.D., Viovy, N., Zaehle, S., & Zeng, N. (2012). The global carbon budget 1959–2011, *Earth System Science Data Discussions*, 5, 1107–1157.
32. Lemus, R. i Lal, R. (2007). Bioenergy Crops and Carbon Sequestration, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24:1, 1-21.
33. Leto, J., Bilandžija, N., Voća, N., Grgić, Z., Jurišić, v. (2017). Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus sp.*). Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet – priručnik.
34. Lewandowski I. i Kicherer A. (1997). Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus x giganteus*. *European Journal of Agronomy*, 6(3-4), 163 –177.
35. Lewandowski, I. (1998) Propagation method as an important factor in the growth and development of *Miscanthusxgiganteus*. *Industrial Crops and Products*, 8(3), 229-245.
36. Lewandowski, I., Clifton-Brown, J. C., Scurlock, J. M. O., Huisman, W. (2000). *Miscanthus*: European experience with a novel energy crop, *Biomass and Bioenergy* 19 209 – 227.
37. Mann, J. J., Barney, J. N., Kyser, G. B., & DiTomaso, J. M. (2012). Root System Dynamics of *Miscanthus x giganteus* and *Panicum virgatum* in Response to Rainfed and Irrigated Conditions in California. *BioEnergy Research*, 6(2), 678–687.
38. McCalmont, J. P., Hastings, A., McNamara, N. P., Richter, G. M., Robson, P., Donnison, I. S. (2017). Environmental costs and benefits of growing *Miscanthus* for bioenergy in the UK. *Gcb Bioenergy*; 9:489–507.
39. Mishra, U., Torn, M. S., Fingerman, K. (2012). *Miscanthus* biomass productivity within US croplands and its potential impact on soil organic carbon. *GCB Bioenergy*, 5(4), 391–399.
40. Mistry, A. V., Ganta, U., Chakrabarty, J., Dutta, S. (2018). A Review on Biological Systems for CO₂ Sequestration: Organisms and Their Pathways, *Environmental Progress & Sustainable Energy*.

41. Monti, A., i Zatta, A. (2009). Root distribution and soil moisture retrieval in perennial and annual energy crops in Northern Italy. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 132(3-4), 252–259.
42. Nakajima, T., Yamada, T., Anzoua, K. G., Kokubo, R., Noborio, K. (2018). Carbon sequestration and yield performances of *Miscanthus × giganteus* and *Miscanthus sinensis*. *Carbon Management*, 1–9.
43. Neukirchen, D., Himken, M., Lammel, J., Czypionka-Krause, U., & Olf, H.-W. (1999). Spatial and temporal distribution of the root system and root nutrient content of an established *Miscanthus* crop. *European Journal of Agronomy*, 11(3-4), 301–309.
44. Ostrogović, M. Z. (2013). Zalihe i bilanca ugljika regularno gospodarene šume hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u Pokupskom bazenu. Doktorski rad. Sveučilište u Zagrebu. Šumarski fakultet.
45. Pardo, G., del Pardo, A., Martínez-Mena, M., Bustamante, M. A., Rodríguez Martín, J. A., Álvaro-Fuentes, J., Moral, R. (2016). *Agriculture, Ecosystems and Environment*.
46. Prabhugouda P., Kiran K. (2017). Biological carbon sequestration through fruit crops (Perennial crops – natural “sponges” for absorbing carbon dioxide from atmosphere), *Plant Archives*, Vol. 17 No. 2, pp. 1041-1046.
47. Rajni R., Suparna S., Ankita A. (2019). Carbon Sequestration by Fruit Trees – A Strategy for Climate Change Mitigation, *Biomolecule Reports – An International eNewsletter*, ISSN: 2456-8759
48. Raven, J. A., Falkowski, P. G. (1999). Oceanic sinks for atmospheric CO₂. *Plant, Cell & Environment*; 22:741–55.
49. Richter, G. M., Agostini, F., Redmile-Gordon, M., White, R., & Goulding, K. W. T. (2015). Sequestration of C in soils under *Miscanthus* can be marginal and is affected by genotype-specific root distribution. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200, 169–177.
50. Robertson, A. D., Whitaker, J., Morisson, R., Davies, C. A., Smith, P., McNamara, N. P. (2017). A *Miscanthus* plantation can be carbon neutral without increasing soil carbon stocks, *GCB Bioenergy* 9, 645–661.
51. Tokgöz, N. (2010). Numerical Analysis of Worldwide CO₂ Emissions and Effects on Atmospheric Warming in Turkey, *Energy Sources Part A*, 32:769-783, Taylor & Francis Group LLC.

52. USGS, volcanic gases and their effects, United States Geological Survey (2010). /<http://volcanoes.usgs.gov/hazards/gas/index.php>,.
53. Valkama, E., Kunyupiyeva, G., Zhapayev, R., Karabayev, M., Zhusupbekov, E., Perego, A., Schillaci, C., Sacco, D., Morreti, B., Grignani, C., Acutis, M. (2020). Can conservation agriculture increase soil carbon sequestration? A modelling approach, *Geoderma* 369, 114298.
54. Vassilev, S. V., Baxter, D., Andersen, L. K., & Vassileva, C. G. (2010). An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel*, 89(5), 913–933.
55. Vijaya Venkata Raman, S., Iniyar, S., Goic R. (2012). A review of climate change, mitigation and adaptation, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 878-897.
56. Winkler, B., Mangold, A., von Cossel, M., Clifton-Brown, J. C., Pogrzeba, M., Lewandowski I., Iqbal, Y., Kiesel, A. (2020). Implementing miscanthus into farming systems: A review of agronomic practices, capital and labour demand, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 132, 110053.
57. Zimmermann, J., Dauber, J., & Jones, M. B. (2011). Soil carbon sequestration during the establishment phase of *Miscanthus × giganteus*: a regional-scale study on commercial farms using ¹³C natural abundance. *GCB Bioenergy*, 4(4), 453–461.
58. Zub, H. W., Arnoult, S., Brancourt-Hulmel, M. (2011). Key traits for biomass production identified in different *Miscanthus* species at two harvest dates. *Biomass and Bioenergy* 35, 637-651.

Internet poveznice

1. https://klima.hr/k1/k1_2/zagreb_maksimir.pdf
2. https://meteo.hr/klima.php?section=klima_hrvatska¶m=k1
3. <https://www.agr.unizg.hr/hr/676/O+nama>

Životopis

Renato Stuparić rođen je u Zagrebu 31.05.1995. godine. Završio je Prvu ekonomsku školu u Zagrebu koju je pohađao od 2010. do 2014, te je stekao zvanje ekonomista. 2016. godine upisuje Agronomski fakultet u Zagrebu, smjer Poljoprivredna tehnika. Preddiplomski studij završava obranom završnog rada na temu „Mogućnost uzgoja divljeg prosa (*Panicum virgatum* L.) u Republici Hrvatskoj“. Koristi vrlo dobro engleski jezik u govoru i pismu, te osnove njemačkog jezika.