

# Bilanca ugljika u sustavu biljka, biljka-tlo, biljka-tlo-atmosfera različitih hibrida kukuruza

---

**Medak, Sara**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*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:204:142935>

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

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



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKULTET

Diplomski studij:

Ekološka poljoprivreda i agroturizam

**BILANCA UGLJIKA U SUSTAVU BILJKA, BILJKA-TLO,  
BILJKA-TLO-ATMOSFERA RAZLIČITIH HIBRIDA  
KUKURUZA**

DIPLOMSKI RAD

Sara Medak

Mentor:  
izv. prof. dr. sc. Darija Bilandžija

Zagreb, rujan, 2024.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**AGRONOMSKI FAKULTET**

**IZJAVA STUDENTA**  
**O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI**

Ja, **Sara Medak**, JMBAG 0119034028, rođen/a 9.10.1996. u Splitu, izjavljujem da sam samostalno izradila/izradio diplomski rad pod naslovom:

**BILANCA UGLJIKA U SUSTAVU BILJKA, BILJKA-TLO, BILJKA-TLO-ATMOSFERA RAZLIČITIH**  
**HIBRIDA KUKURUZA**

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 studentice **Sare Medak**, JMBAG 0119034028, naslova

**BILANCA UGLJIKA U SUSTAVU BILJKA, BILJKA-TLO, BILJKA-TLO-ATMOSFERA RAZLIČITIH  
HIBRIDA KUKURUZA**

obranjen je i ocijenjen ocjenom \_\_\_\_\_, dana \_\_\_\_\_.

Povjerenstvo:

1. Izv.prof.dr.sc. Darija Bilandžija mentorica
2. Prof.dr.sc. Željka Zgorelec članica
3. Izv.prof.dr.sc. Nikola Bilandžija član

potpisi:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## Zahvala

*Zahvaljujem se svojoj mentorici prof. dr. sc. Dariji Bilandžiji na vodstvu, podršci i savjetima koje mi je pružila pri pisanju rada. Hvala na ukazanom povjerenju.*

*Hvala mojim prijateljicama i prijateljima. Posebno hvala Josipi i Lani.*

*Najveće hvala mojim roditeljima, sestrama i ostaloj obitelji na emotivnoj i financijskoj podršci tijekom cijelog studiranja, na strpljenju i na vjeri u moj uspjeh.*

## Sadržaj

1.	Uvod.....	1
1.1.	Cilj istraživanja i hipoteza.....	4
2.	Materijali i metode .....	5
2.1.	Lokacija .....	5
2.2.	Klima .....	6
2.3.	Tlo.....	7
2.4.	Biljka .....	8
2.5.	Sadržaj ugljika u tlu i biljnom materijalu .....	9
2.6.	Disanje tla .....	11
2.7.	Bilanca ugljika u sustavu biljka, biljka-tlo, biljka-tlo atmosfera .....	12
2.8.	Statistička obrada podataka .....	12
3.	Rezultati i rasprava.....	13
3.1.	Meteorološki uvjeti tijekom razdoblja istraživanja .....	13
3.2.	Sadržaj ugljika u tlu .....	15
3.3.	Sadržaj ugljika u biljnom materijalu .....	16
3.4.	Disanje tla .....	18
3.5.	Mehanizacija.....	20
3.6.	Bilanca ugljika u sustavu biljka, biljka-tlo, biljka-tlo atmosfera .....	21
3.6.1.	Statistička analiza bilance ugljika .....	21
3.6.2.	Bilanca u sustavu <i>biljka</i> .....	23
3.6.3.	Bilanca u sustavu <i>biljka-tlo</i> .....	23
3.6.4.	Bilanca u sustavu <i>biljka-tlo-atmosfera</i> .....	26
4.	Zaključak .....	27
	Popis literature.....	29
	Životopis.....	34

## Sažetak

Diplomskog rada studentice **Sare Medak**, naslova

### **BILANCA UGLJIKA U SUSTAVU BILJKA, BILJKA-TLO, BILJKA-TLO-ATMOSFERA RAZLIČITIH HIBRIDA KUKURUZA**

Ovim je istraživanjem određena masa ugljika u biljnom materijalu i tlu, disanje tla i agroekološki čimbenici za hibride kukuruza Rudolfov 60, Kulak, OSSK 596 i OSSK 515 te je određena bilanca ugljika u sustavu *biljka*, *biljka-tlo*, *biljka-tlo-atmosfera*. Istraživanjem je utvrđeno da nema značajne razlike među hibridima u sadržaju ugljika u tlu, oklasku, zrnu, vlazi u tlu, temperaturi te bilanci ugljika. Utvrđena je značajna razlika u sadržaju ugljika u korijenu, strništu, stabljici i kumušini među hibridima te u disanju tla između kontrole i hibrida. Bilanca ugljika u sustavu *biljka* kretala se od -10,97 do -8,46 t ha<sup>-1</sup>. Bilanca u sustavu *biljka-tlo* kretala se od 37,02 do 43,93 t ha<sup>-1</sup>, a bilanca sustava *biljka-tlo-atmosfera* od 36,89 do 43,81 t ha<sup>-1</sup>. Kako bi se nadomjestio ugljik iznesen iz sustava biljka, u agroekosustav je potrebno povratiti 28,5 t ha<sup>-1</sup> suhe tvar za Rudolfov, za Kulak 23,0 t ha<sup>-1</sup>, za OS 596 25,4 t ha<sup>-1</sup> i za OS 515 23,0 t ha<sup>-1</sup> suhe tvari biljnog materijala.

**Ključne riječi:** sekvestracija ugljika, disanje tla, regenerativna poljoprivreda

## Summary

Of the master's thesis – student **Sara Medak**, entitled

### CARBON BALANCE IN THE PLANT, PLANT-SOIL, PLANT-SOIL-ATMOSPHERE SYSTEM OF DIFFERENT MAIZE HYBRIDS

This research determined the mass of carbon in plant material and soil, soil respiration, agroecological factors and the carbon balance in the *plant*, *plant-soil*, *plant-soil-atmosphere* system for the maize hybrids Rudolfov 60, Kulak, OSSK 596 and OSSK 515. The research found that there is no significant difference between the hybrids in the carbon content of the soil, the kernel, the grain, the moisture in the soil, the temperature and the carbon balance. A significant difference was found in the carbon content in the roots, stubble, stem, and shoot among the hybrids, and in soil respiration between the control and hybrids. The carbon balance in the *plant* system ranged from -10.97 to -8.46 t ha<sup>-1</sup>. The balance in the *plant-soil* system ranged from 37.02 to 43.93 t ha<sup>-1</sup>, and the balance of the *plant-soil-atmosphere* system from 36.89 to 43.81 t ha<sup>-1</sup>. In order to replace the carbon removed from the *plant* system, 28.5 t ha<sup>-1</sup> of dry matter must be added to the agroecosystem for Rudolfov, 23.0 t ha<sup>-1</sup> for Kulak, 25.4 t ha<sup>-1</sup> for OS 596 and 25.4 t ha<sup>-1</sup> for OS 515 23.0 t ha<sup>-1</sup> dry matter of plant material.

**Keywords:** carbon sequestration, soil respiration, regenerative agriculture



## 1. Uvod

Periodična promjena klime, globalna zatopljenja i zahladnjenja, prirodni su klimatološki ciklusi klimatske varijabilnosti Zemljine atmosfere koja se izmjenjuje u različitim vremenskim intervalima. Međutim, od industrijske revolucije klimatskim promjenama dominiraju ljudski utjecaji koji su sada dovoljno veliki da prelaze granice prirodne varijabilnosti (Karl i Trenberth, 2003). Prema IPCC-ovom (2001) izvještaju o klimatskim promjenama, od početka industrijske revolucije do 2000. godine, koncentracija ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>) porasla je za 31 %, metana (CH<sub>4</sub>) za 151 %, a didušikovog oksida (N<sub>2</sub>O) za 17 %. Ukoliko se ovim tempom nastave otpuštati emisije antropogenih stakleničkih plinova u atmosferu moguće je ostvariti predviđen, dosada nezabilježen porast prosječne temperature zraka Zemljine površine za 1,1 do 5,8 °C do kraja stoljeća (Tokgöz, 2010).

Atmosfera propušta kratkovalno toplinsko zračenje Sunca do Zemljine površine. Zemlja apsorbira kratkovalno zračenje, a višak se energije emitira u obliku dugovalnog zračenja natrag u svemir. Ovisno o zasićenosti atmosfere stakleničkim plinovima, dio energije dugovalnog toplinskog zračenja ostaje apsorbirano u molekulama stakleničkih plinova. Kao odgovor na višak primljene energije, atmosfera emitira toplinu u obliku dugovalnog zračenja što za posljedicu ima zarobljavanje topline u troposferi odnosno dodatno zagrijavanje Zemljine površine. Od navedenih plinova, CH<sub>4</sub> ima najveći stogodišnji potencijal globalnog zagrijavanja koji je prema Yang i sur. (2018) 265 puta veći od potencijala globalnog zagrijavanja CO<sub>2</sub>. Ipak, najbitnijim stakleničkim plinom smatra se CO<sub>2</sub> čiji je udio u koncentraciji stakleničkih plinova oko 80 % (Tokgöz, 2010). Prije industrijske revolucije razina CO<sub>2</sub> oscilirala je između 200 i 280 ppm. Navedena koncentracija je porasla na 380 ppm početkom 20. st. (Feely i sur., 2004), a u 2021. g. koncentracija CO<sub>2</sub> u atmosferi dosegla je 414 ppm (Friedlingstein i sur., 2022). Zbog navedenog, intenzivno se istražuju metode smanjenja emisija i povećanja ponora atmosferskog CO<sub>2</sub>.

Ugljik (C) je temeljni element organskih spojeva odnosno žive tvari. Nalazi se u svojoj flori i fauni, u geološkim skladištima, mineralima, otopljen u vodi i morima i vezan u plinovitom obliku. Kruženje ugljika je biokemijski ciklus izmjene ugljika između atmosfere, hidrosfere, biosfere i litosfere te je posljedica bioloških, kemijskih, fizikalnih i geoloških procesa. Ciklus ugljika može se podijeliti na biološki i geološki. Biološki ciklus ugljika, koji će biti detaljnije proučen u ovom radu, odvija se između biosfere, pedosfere i atmosfere u trajanju od jednog dana do više stotina godina. Geološki ciklus odvija se između litosfere, hidrosfere i atmosfere (Bronić, 2007). Prirodnim tokom kruženja ugljika, CO<sub>2</sub> se u atmosferu emitira vulkanskim erupcijama, izgaranjem, geotermalnim, hidrotermalnim emisijama, disanjem životinja i biljaka te razgradnjom organske tvari (Holloway i sur., 2007; Farrelly i sur., 2013). Glavni antropogeni izvori emisija su izgaranje fosilnih goriva (87 %) te prenamjena zemljišta odnosno deforestacija (9 %). Industrijski procesi, energetske potrebe kućanstava i druge djelatnosti pridonose s 4 % antropogenih emisija CO<sub>2</sub> (Mistry i sur. 2019, Brozović 2014). No, i poljoprivreda značajno doprinosi različitim onečišćenjima okoliša, pa tako i emisiji stakleničkih plinova pri čemu se 23

do 37 % ukupnih emisija stakleničkih plinova može pripisati ljudskoj aktivnosti vezanoj za poljoprivredu (Zamir i sur., 2023).

Skladištenje odnosno vezanje ugljika u različita pohraništa naziva se sekvestracija ugljika. Ova se definicija odnosi na prirodni ciklus ugljika i na antropogene procese hvatanja, uklanjanja ugljika iz atmosfere i pohranjivanja ugljika u kopnena okruženja, oceane i geološke formacije (Mistry i sur., 2019). Najveće pohranište ugljika su sedimentne stijene u kojima je sadržano 1,1 milijuna Gt ugljika (Soulet i sur., 2021). Od drugih pohraništa, najveći je oceanski s 38 000 Gt C ( $1 \text{ Gt} = 10^9 \text{ t}$ ) i pozitivnom bilancom od  $2,3 \text{ Gt god}^{-1}$ ; slijedi geološki s 4130 Gt i negativnom bilancom od  $7 \text{ Gt god}^{-1}$ ; pedološki s 2500 Gt C do 1 m dubine koji se dijeli na pohranište organskog ugljika – ugljika u organskoj tvari tla (Soil organic carbon – SOC: 1550 Gt) i anorganskog ugljika (Soil inorganic carbon - SIC: 950 Gt) u tlu, atmosferski s 760 Gt i pozitivnom bilancom od  $3,5 \text{ Gt C god}^{-1}$  i biološki s 560 Gt C (Janson i sur., 2010). Fotosintezom se apsorbira  $123 \text{ Gt god}^{-1}$  ugljika iz atmosfere no disanjem biljaka u atmosferu se vraća otprilike  $60 \text{ Gt C god}^{-1}$ . Većina preostalog ugljika gubi se disanjem korijena. Ostatak od otprilike  $10 \text{ Gt C god}^{-1}$  definiran je kao neto produktivnost sustava te, ovisno o uvjetima, može biti sekvestrirana u tlo. Uslijed korištenja zemljišta, biotičkih stresova, požara i drugih poremećaja, većina ovog ugljika se gubi. Posljedica su  $3 \text{ Gt C god}^{-1}$  sekvestriranog u tlu (Janson i sur., 2010). Isto vrijedi i za oceane gdje fotosintetski organizmi apsorbiraju  $92 \text{ Gt C god}^{-1}$ , a disanjem oslobode  $90 \text{ Gt C god}^{-1}$  te dovode do stope sekvestracije od  $2 \text{ Gt god}^{-1}$  (Farrelly i sur., 2013). Između terestričkog (biološkog i pedološkog) i atmosferskog pohraništa kruženje ugljika je intenzivno. Lal (2008) navodi da je terestričko pohranište iscrpljeno prenamjenom prirodnih ekosustava te dodaje da se 0,4 do 0,8 Gt ugljika godišnje gubi iz ovog pohraništa erozijom. Rastresiti materijal zatim završava u oceanskom pohraništu. S obzirom na velike zahtjeve prema poljoprivrednoj proizvodnji da se zadovolje potrebe rastuće populacije, i s obzirom na iscrpljenost tla uzrokovanom neprimjerenim upravljanjem tlima, uloga poljoprivrednih praksi i njihov utjecaj na tlo, klimu, emisije stakleničkih plinova, vodne resurse, bioraznolikost i drugo sada se treba razmatrati više nego ikad (Bilandžija i sur., 2016).

Sekvestracija ugljika u tlo proces je vezanja i pohrane  $\text{CO}_2$  u tlo kroz biljku, biljne ostatke i druge organske tvari koje se pohranjuju i zadržavaju u tlu (Lal i sur., 2015). Fotosinteza je proces kojim biljke i drugi fotosintetski organizmi uz energiju sunčevog zračenja, vodu i apsorpciju atmosferskog  $\text{CO}_2$  stvaraju glukozu. Proizvedena glukoza pretvara se u škrob i celulozu pohranjujući tako organski ugljik u stanice biljke (Farrelly i sur., 2013). Sekvestracija SOC-a odnosi se na pohranu ugljika u gornje slojeve tla (od 0,5 do 1 m) prirodnim procesom humifikacije u kojeg su osim biljaka uključeni i mikroorganizmi (gljive, bakterije i alge) (Lal, 2008; Mistry i sur., 2019). Tlo kao potencijalni ponor ugljika može biti ključan čimbenik u rješavanju klimatskih promjena jer sadrži dvostruko više ugljika u odnosu na atmosferu i tri puta više ugljika u usporedbi s vegetacijom (Bilandžija i sur., 2016). Terestrički ponor pridonosi pozitivnoj bilanci ugljika od 2 do 4 Gt ugljika  $\text{god}^{-1}$  i ima mogućnost povećanja kapaciteta na 5 Gt ugljika  $\text{god}^{-1}$  do 2050. g. (Srivastava i sur., 2012). Prema Shukla i sur. (2019), ponor ugljika u kopneno pohranište povećao se od početka 20. st. uslijed klimatskih promjena i povećanja koncentracije  $\text{CO}_2$  u atmosferi. Autori procjenjuju da se tijekom razdoblja od 2008. do 2017.

godine vezalo  $11,7 \pm 3,7$  Gt CO<sub>2</sub> god<sup>-1</sup> odnosno da se u tlo sekvestriralo 29 % antropogeno emitiranih emisija CO<sub>2</sub>.

Prema procjenama, iz degradiranih i poljoprivrednih tala u svijetu izgubljeno je između 42 i 78 Gt ugljika. Gubitci ugljika iz tla uzrokovani poljoprivredom rezultat su intenzivne obrade tla, odnosno ubrzavanja razgradnje organske tvari tla uslijed povećane aeracije tla i izloženosti organske tvari, te uklanjanja biomase žetvom (Gougloulias i sur., 2014). Poljoprivredne prakse stoga su ključan faktor u zaustavljanju ovog negativnog trenda. Povećanje ponora ugljika moguće je ostvariti primjenom odgovarajućih agrotehničkih zahvata poput gnojidbe, obrade tla i drugih agrotehničkih mjera (Lal, 2008). Müller-Lindenlauf, M. (2009) tvrdi da agrotehničke prakse koje se primjenjuju u ekološkoj poljoprivredi predstavljaju dobre metode gospodarenja hranivima što će imati veliki značaj u vremenima ograničenih resursa. Lal i sur. (2015) ističu granu ekološke poljoprivrede – regenerativne poljoprivrede, kao ključnu za obnavljanje kvalitete tla odnosno povećanje koncentracije SOC-a. Prema Lal (2008), obnavljanjem 750 Mha degradiranog tla moguće je postići sekvestraciju od 1,1 Gt C god<sup>-1</sup>. Iz svega je navedenog uočljiv potencijal poljoprivrede u povećanju stope sekvestracije ugljika u terestički rezervoar. Tehnike regenerativne poljoprivrede obuhvaćaju prakse poput izostavljene obrade tla, malčiranja, ostavljanja biljnih ostataka i primjene širokog plodoreda te uzgoj međuusjeva. Kod izostavljene obrade, zahvat obrade tla je sveden na najnižu razinu te se primjenjuje direktna sjetva (Zamir i sur., 2023).

Osim poljoprivrede, sektor šumarstva također predstavlja sektor koji može značajno pridonijeti smanjenju atmosferskog C u određenom postotku. Prenamjena zemljišta, uglavnom deforestacija u 2021. g. je uzrokovala porast antropogenih emisija za  $1,1 \pm 0,7$  Gt C god<sup>-1</sup> (Friedlingstein i sur., 2022). Lal (2008) smatra da emisija od 0,5 Gt C god<sup>-1</sup> može biti izbjegnuta ukine li se potpuno sječa tropskih šuma. Također, pošumljavanjem od 25 Mha zemljišta u tropskom pojasu, odnosno 400 Mha u umjerenom pojasu, moguće je sekvestrirati ugljik od 0,5 Gt C god<sup>-1</sup>. Nadalje, autor predviđa da bi se realizacijom navedenog, tijekom razdoblja od 2000. do 2050. g. moglo sekvestrirati 25 Gt C ugljika. Prema šestom izvješću IPCC-a (2023) poljoprivreda, šumarstvo i drugi načini korištenja zemljišta sudjelovali su s 13 do 21 % ukupnih globalnih antropogenih emisija stakleničkih plinova tijekom razdoblja 2010. - 2019. g. S obzirom da je krčenje šuma odgovorno za 45 % potonjih emisija, smanjenje krčenja šuma ima najveći potencijal u ublažavanju klimatskih promjena u sektoru Korištenje zemljišta, prenamjena zemljišta i šumarstvo (Land Use, Land Use Change and Forestry, LULUCF). Slijedi poljoprivredni sektor te obnova iskrčenih i pošumljavanje nešumskih područja. Agrošumarstvo ima sekvestracijski potencijal od 9 do 63 t C ha<sup>-1</sup> ovisno o klimatskom području (Montagnini i sur., 2004). Jedan od osnovnih sustava u ovom tipu poljoprivrede je agrosilvokultura (agrošumarstvo) tj. kombinirani sustav uzgoja ratarskih i šumskih kultura (Španjol i sur., 2013).

Prinos kukuruza značajno se povećao u proteklih 50 g., a simultano se povećavao i broj hibrida kukuruza. Razlog genetičkog poboljšanja kukuruza su povećanje tolerancije biljke na stres (npr. suša, nedostatak dušika, sjetva u gustom sklopu, otpornost na korove), nakupljanja suhe tvari nakon svilanja i prinosa (Acciaresi i sur., 2014; Khan i sur., 2018). Prema Li i sur. (2022), hibrid otporan na nedostatak dušika bolje akumulira ugljik od drugog ispitivanog

hibrida. Khan i sur. (2018) u istraživanju pokazuju razliku u količini sekvestriranog ugljika u tlu ovisno o hibridu.

Korist od sekvestracije ugljika u tlo ne zadržava se samo na dobrobiti uklanjanja ugljika iz atmosfere već uključuje i unapređenje sigurnosti hrane i prehrane, povećanje obnovljivosti i kvalitete vode, poboljšanje bioraznolikosti, restauraciju degradiranih ekosustava te strukture i zdravlja samog tla, povećanju prinosa usjeva i smanjenju erozije tla (Lal, 2008; Lal i sur., 2015).

### **1.1. Cilj istraživanja i hipoteza**

Pretpostavlja se da će se količina sekvestriranog ugljika u podzemnoj i nadzemnoj biomasi, distribucija ugljika u pojedinim dijelovima biljke, količina ugljika u tlu te stupanj godišnjeg disanja tla razlikovati između istraživanih hibrida kukuruza. Stoga je cilj rada za 4 različita hibrida kukuruza utvrditi:

- (I) količinu sekvestriranog ugljika u podzemnoj i nadzemnoj biomasi,
- (II) raspodjelu ugljika u pojedinim dijelovima biljke,
- (III) količinu ugljika u tlu,
- (IV) stupanj godišnjeg disanja tla te
- (V) izračunati bilancu ugljika u sustavu biljka, biljka-tlo i biljka-tlo-atmosfera u zadanim agroekološkim uvjetima.

## 2. Materijali i metode

### 2.1. Lokacija

Istraživanje je provedeno na poljoprivrednim površinama Poljoprivrednog instituta Osijek (45°31'55.6"N, 18°44'13.8"E) (Slika 2.1.1.) u blizini grada Osijeka. Veličina svake pokusne varijante pojedinačnog istraživanog hibrida kukuruza iznosila je 150 m<sup>2</sup> (15 m x 10 m) u tri ponavljanja (Slika 2.1.2.).



Slika 2.1.1. Lokacija pokusnog polja

Izvor: Google LLC (2023). Google Earth, Version 10.61.0.4



Slika 2.1.2. Pokusno polje

Izvor: izv. prof. dr. sc. Darija Bilandžija

## 2.2. Klima

Voda i toplina pripadaju najvažnijim čimbenicima u razvoju biljke. Uz svojstva tla, klima nekog područja određuje poljoprivrednu proizvodnju tog istog područja. Klima je prosječno stanje atmosfere nad nekim područjem, stoga se analiza klimatskih uvjeta provodi na temelju dugogodišnjih, uglavnom 30-godišnjih, mjerenja. Prema klimatološkoj analizi suvremenog razdoblja 1991. – 2018., područje grada Osijeka ima kontinentalnu klimu odnosno, prema Köppen-ovoj klasifikaciji klime, istraživano područje ima umjereno toplu kišnu klimu – Cfbwx. (Bilandžija i Martinčić, 2021). Analizom prosječnih vrijednosti temperature zraka (Tablica 2.2.1.) i količine oborine (Tablica 2.2.2.), utvrđeno je kako u suvremenom razdoblju nema jasnog grupiranja vlažnih/suhih godina, ali je utvrđeno da se deset najtoplijih godina i vegetacijskih razdoblja od 1961. godine pojavilo od 1991. do danas.

Prema Bilandžija i Martinčić (2021), na području grada Osijeka tijekom godine, prosječna temperatura zraka raste od najhladnijeg mjeseca (siječanj) do najtoplijeg mjeseca (srpanj) u godini kada od sredine ljeta započinje snižavanje temperature zraka do kraja godine odnosno do siječnja. Prosječna temperatura zraka u vegetacijskom periodu je 18,6 °C što je za 6,9 °C više od godišnjeg prosjeka koji iznosi 11,7 °C (Tablica 2.2.1.). Prosječne proljetne temperature zraka iznose 12,1 °C, ljetne 21,7 °C, jesenske 11,6 °C, a zimske 1,5 °C. Prosječne temperature zraka najtoplijeg mjeseca (srpanj) kreću se od 19,9 do 24,8 °C, a najhladnijeg (siječanj) od -5,1 do 6,8 °C.

Tablica 2.2.1. Prosječna temperatura zraka (°C) na području Osijeka u razdoblju od 1991. – 2018. godine

	P	LJ	J	Z	VEG	GOD
<b>1991. – 2018.</b>						
<b>sr</b>	12,1	21,7	11,6	1,5	18,6	11,7
<b>sd</b>	1,0	1,0	1,0	1,6	0,9	0,8
<b>max</b>	13,7	23,8	13,6	5,0	20,1	12,9
<b>min</b>	10,4	20,1	9,6	-1,5	17,2	10,2

\* P - proljeće (3.-5.mj.), LJ – ljeto (6.-8.mj.), J – jesen (9.-11.mj.), Z – zima (12.-2.mj.), VEG - vegetacijsko razdoblje (4.-9.mj.), GOD – godišnje, sr – srednja vrijednost, sd - standardna devijacija, max – maksimum, min – minimum  
Izvor: Bilandžija i Martinčić (2021)

Količina, vrsta i učestalost oborine izuzetno su bitni parametri u poljoprivrednoj proizvodnji. O količini oborine ovisi klijanje, razvoj usjeva i prinosa, pojava i razvoj bolesti i štetnika, te navodnjavanje odnosno potreba za dodatnim troškovima u proizvodnji. Istraživanje Bilandžija i Martinčić (2021) pokazuje da prosječna godišnja količina oborine tijekom razdoblja 1991. – 2018. iznosi 707 mm s najvećom količinom oborine u lipnju (80,7 mm) (Tablica 2.2.2.). Srednja mjesečna količina oborine se postupno povećava tokom proljetnih mjeseci te ostvaruje svoj maksimum u lipnju. Postupno smanjenje količine oborine započinje krajem ljeta i tokom

jeseni. Prosječna količina oborine u vegetacijskom razdoblju iznosi 390 mm. Autorice navode da 57,0 % godišnje količine oborine padne u toplom dijelu godine (od travnja do listopada). Tijekom ispitivanog razdoblja uočen je pozitivan trend u količini oborine od 57 mm u suvremenom naspram referentnog razdoblja 1961. – 1990. g.

Tablica 2.2.2. Prosječna količina oborine (mm) na području grada Osijeka u razdoblju 1991. – 2018. godine

	P	LJ	J	Z	VEG	GOD
<b>1991. – 2018.</b>						
<b>sr</b>	167	207	196	142	390	707
<b>sd</b>	55	91	70	60	149	161
<b>cv</b>	0,33	0,44	0,36	0,43	0,38	0,23
<b>P<sub>max</sub></b>	282	519	318	295	699	1038
<b>P<sub>min</sub></b>	35	78	45	1	155	317

\* P - proljeće (3.-5.mj.), LJ – ljeto (6.-8.mj.), J – jesen (9.-11.mj.), Z – zima (12.-2.mj.), VEG - vegetacijsko razdoblje (4.-9.mj.), GOD – godišnje, sr – srednja vrijednost, sd - standardna devijacija, cv - koeficijent varijacije, P<sub>max</sub> – maksimum, P<sub>min</sub> - minimum

Izvor: Bilandžija i Martinčić (2021.)

### 2.3. Tlo

Tlo je sastavljeno od čvrste, tekuće i plinovite faze, odnosno organskog i anorganskog dijela, predstavlja medij kruženja elemenata te izvor vode i hrane za biljke, mikro i makroorganizme. S obzirom na važnu ulogu koju tlo ima u ekosustavu, kako na lokalnoj tako i na globalnoj skali, stvara se potreba za određivanjem kvalitete tala. Kvaliteta tla određena je njegovim fizikalnim, kemijskim i biološkim čimbenicima te ovisi o obliku i položaju terena, klimi i, najčešće degradirajućem, čovjekovom utjecaju (Arshad i Coen, 1992).

Prije početka istraživanja provedeno je uzorkovanje tla u listopadu 2020. godine. Analiza tla provedena je u analitičkom laboratoriju Zavoda za opću proizvodnju bilja Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Uzorkovanje, transport i čuvanje uzoraka provedeno je prema ISO 10381-1 do 8 (2001-2006) normama. Od fizikalnih svojstava tla određeni su mehanički sastav tla, volumna i prava gustoća, gustoća čvrstih čestica, porozitet, retencijski kapacitet tla za vodu, trenutna vlažnost, sadržaj pora u tlu, i kapacitet tla za zrak i vodu. Metodom ISP (Integral suspension pressure) utvrđeno je da je tlo na pokusnom polju praškasto-glinaste teksture te sadrži 2,3 % pijeska, 56,0 % praha i 41,7 % gline (Tablica 2.3.1.). Trenutna vlažnost 32,1 %, porozitet tla 47,8 %, volumna gustoća tla 1,39 g cm<sup>-3</sup>, gustoća čvrstih čestica 2,66 g cm<sup>-3</sup>, kapacitet tla za vodu 37,7 % a za zrak 10,2 %. Trenutna vlažnost i porozitet tla dobiveni su obračunom cilindra po Koppeckom/gravimetrijski, nakon određivanja volumne gustoće (određena metodom HRN ISO 11272:2004) i gustoće čvrstih čestica (određena temeljem metode HRN ISO 11508:2004). Kapacitet zraka određen je obračunom nakon određivanja ukupnog sadržaja pora u tlu i retencijskog kapaciteta vode tla.

Tablica 2.3.1. Fizikalna svojstva tla

$m_{tpv}$ (g)	$m_{rk}$ (g)	$m_{st}$ (g)	Kv (%)	Tv (%)	Stv (g cm <sup>-3</sup> )	Stp (g cm <sup>-3</sup> )	P (%)	Kz (%)	pijesak (%)	Prah (%)	Glina (%)
170,7	176,3	138,6	37,7	32,1	1,39	2,7	47,8	10,2	2,3	56	41,7

\*  $m_{pv}$  - masa tla s prirodnom vlažnosti (g),  $m_{rk}$  - tla zasićenog do retencijskog kapaciteta (g),  $m_{st}$  - potpuno suhog tla (g), Kv - kapacitet tla za vodu (%), Tv - trenutna vlažnost (%), Stv - volumna gustoća tla (g cm<sup>-3</sup>); Stp - gustoća čvrstih čestica (g cm<sup>-3</sup>); P – ukupni porozitet (%), Kz - kapacitet tla za zrak (%)

Od kemijskih svojstava tla, reakcija tla određena je potenciometrijskim mjerenjem u suspenziji tla i ekstrakcijskog sredstva (u 1 M KCl-u) u omjeru 1:2,5 (modificirana HRN ISO 10390:2005 metoda). Sadržaj humusa određen je prema modificiranoj HRN ISO 14235:2004 normi, a stvarni kapacitet zamjene kationa (KIK) prema HRN ISO 11260:2004. Sadržaj ukupnog ugljika (prema protokolu HRN ISO 10694:2004), dušika (prema protokolu HRN ISO 13878:2004) i sumpora (prema protokolu HRN ISO 15178:2005) provedeni su simultano, metodom suhog spaljivanja na Vario, Macro CHNS analizatoru (Elementar, 2006.). Sadržaj biljci pristupačnog kalija je određen i detektiran metodom kemijske plamene fotometrije uporabom Jenway PFP 7 plamenog fotometra, a sadržaj fosfora kolorimetrijskom metodom na DR/2000 HAC spektrofotometru. Sadržaj karbonata u tlu utvrđen je volumetrijskom metodom po Scheibler-u prema HRN ISO 10693:2004 normi. Tlo na pokusnom polju je alkalne reakcije, dobro opskrbljeno biljci pristupačnim fosforom i kalijem, umjereno/osrednje humozno i slabo karbonatno, a sadržaj ukupnog ugljika iznosi 1,25 % (Tablica 2.3.2.).

Tablica 2.3.2. Kemijska svojstva tla

pH (1 M KCl)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	K <sub>2</sub> O (mg/100 g)	Humus (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	N (%)	C (%)	S (%)	KIK (cmol <sup>+</sup> /kg)
7,24	17,87	15,50	2,30	0,90	0,11	1,25	0,06	20,73

Za izračun količine ugljika u tlu (t ha<sup>-1</sup>) korištena je jednadžba (2.1.) gdje  $m_c$  (kg) označava količinu tj. masu ugljika u tlu,  $\rho_{Stv}$  (kg m<sup>-3</sup>) stvarnu volumnu gustoću tla,  $V_{tlo}$  (m<sup>3</sup>) volumen tla do 30 cm dubine, a  $p_c$  (%) postotni sadržaj ugljika u tlu.

$$m_c = \rho_{Stv} \times V_{tlo} \times p_c \quad (2.1.)$$

## 2.4. Biljka

Istraživanjem su obuhvaćena 4 različita hibrida kukuruza (*Zea mays* L.): Rudolfov 60, Kulak, OSSK 515 i OSSK 596. Pretkultura istraživanim hibridima kukuruza je bila soja (*Glycine max*). Prema Katalogu Poljoprivrednog instituta Osijek (2020), osnovna namjena hibrida Rudolfov 60 (u nastavku Rudolfov) je proizvodnja silaže cijele biljke i zrna. Korijen ovog hibrida je dubok i razgranat te visoko tolerantan na polijeganje. Zbog pozitivne adaptabilnosti moguće je vršiti sjetvu u gušćim sklopovima. Hibrid Kulak posjeduje pojačanu tolerantnost na bolesti i štetnike (s naglaskom na *Diabrotica*). Hibrid je odličnih morfoloških svojstava te je adaptabilan na



različite klimatske i zemljišne uvjete proizvodnje. Kulak daje zrna visoke hranidbene vrijednosti te je zbog svega navedenog visoko prihvaćen na području RH (Poljoprivredni institut Osijek, 2022). OSSK 596 (u nastavku OS 596) uzgaja se za sve namjene (zrno, klip, silaža) zbog ostvarenja visokih i kvalitetnih prinosa silaže. Kao i Kulak, posjeduje pojačanu tolerantnost na bolesti i štetnike, posebice *Diabroticu*. OSSK 515 (u nastavku OS 515) proizvodi se za sve navedene namjene te također daje visoke prinose kvalitetne silaže. Ovaj hibrid ima kvalitetno, duboko zrno koje brzo gubi vodu za vrijeme zriobe. Više o hibridima može se pronaći u katalogima Poljoprivrednog instituta Osijek (2020). U tablici 2.4.1. je prikazan opis pojedinog hibrida.

Tablica 2.4.1. Opis hibrida

	RUDOLFOV	KULAK	OS 596	OS 515
<b>Namjena</b>	Proizvodnja suhog zrna Berba u klipu Proizvodnja silaže		Berba u klipu Proizvodnja silaže	Proizvodnja silaže
<b>Tip zrna</b>	Zuban			
<b>Broj redova zrna</b>	16 – 18		14 – 16	16 – 18
<b>Preporučeni sklop</b>	68 000 – 71 000 klijavih zrna/ha 39 000 – 41 000 klijavih zrna/k.j.	71 000 – 75 000 klijavih zrna/ha 41 000 – 44 000 klijavih zrna/k.j.	65 000 – 68 000 klijavih zrna/ha 38 000 – 39 000 klijavih zrna/k.j.	68 000 – 71 000 klijavih zrna/ha 39 000 – 41 000 klijavih zrna/k.j.
<b>Razmak za sjetvu</b>	20 – 21 cm	19 – 20 cm	21 – 22 cm	20 – 21 cm

Izvor: Poljoprivredni institut Osijek (2020)

## 2.5. Sadržaj ugljika u tlu i biljnom materijalu

Uzorkovanje prosječnih uzoraka tla za potrebe određivanja sadržaja ukupnog ugljika u tlu provedeno je pedološkom sondom (Eijkelkamp, 2005.) na dubini od 0,0 do 0,3 m (Slika 2.5.1.). Priprema uzoraka provedena je prema protokolu ISO 11464:2006. Prosječan uzorak sačinjen je od 10 pojedinačnih uzoraka tla, a uzorkovanje je provedeno na svakoj istraživanoj varijanti pokusa u tri ponavljanja. Uzorkovanje podzemnog (korijen i strnište) i nadzemnog (stabljika, oklasak, komušina i zrno) dijela biomase istraživanih hibrida kukuruza također je provedeno u tri ponavljanja. Biomasa je uzorkovana destruktivnom metodom s 1 m<sup>2</sup> pokusne površine (Slika 2.5.2.). Nakon uzorkovanja biomase na pokusnom polju, uzorci su istoga dana dopremljeni na Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet gdje se provelo čišćenje podzemne biomase od čestica tla, fragmentiranje nadzemne biomase (Slika 2.5.3.) i vaganje. Nakon vaganja uzorkovani su poduzorci svakog istraživanih dijela biomase i pripremljeni su za laboratorijska istraživanja. Sadržaj ukupnog ugljika u tlu i biljnom materijalu utvrđen je

metodom suhog spaljivanja na Vario, Macro CHNS analizatoru (Elementar, 2006.) prema protokolu HRN ISO 10694:2004.



Slika 2.5.1. Uzorkovanje tla pedološkom sondom (lijevo) i uzorci tla (desno)

Izvor: izv. prof. dr. sc. Darija Bilandžija



Slika 2.5.2. Uzorkovanje korijena (lijevo) i strništa (desno)

Izvor: izv. prof. dr. sc. Darija Bilandžija



Slika 2.5.3. Fragmentirani dijelovi klipa kukuruza; zrno (lijevo), oklasak (sredina), komušina (desno)

Izvor: izv. prof. dr. sc. Darija Bilandžija

## 2.6. Disanje tla

Disanje tla je proces oslobađanja CO<sub>2</sub> iz tla u atmosferu. Ovaj je proces uglavnom produkt disanja korijenja, mikroorganizama i faune tla te razgradnje organske tvari. Na disanje tla utječu mnogi čimbenici i njihov međusoban odnos, a ponajviše temperatura i vlažnost tla, njegova struktura, sadržaj organske tvari, vrsta vegetacije i agrotehničke mjere. Npr. tradicionalna, konvencionalna obrada tla i porast temperature tla povećavaju disanje tla odnosno odliv CO<sub>2</sub> iz tla (Schlesinger i Andrews, 2000).

Stupanj disanja tla utvrđen je terenskim mjerenjem koncentracije ugljikovog dioksida CO<sub>2</sub> iz tla *in-situ* metodom zatvorenih statičkih komora (Slika 2.6.1). Tijekom vegetacijske godine mjerenje je provedeno na svakoj varijanti pokusa u tri ponavljanja jednom mjesečno. Koncentracija ugljikovog dioksida mjerena je prenosivim infracrvenim detektorom CO<sub>2</sub> (GasAlerMicro5 IR, 2011). Više detalja o metodologiji nalazi se u Bilandžija i sur. (2016).



Slika 2.6.1. Mjerenje koncentracije CO<sub>2</sub> i agroekoloških čimbenika

Izvor: izv. prof. dr. sc. Darija Bilandžija

U proračun emisije CO<sub>2</sub> -  $F_{CO_2}$  (kg ha<sup>-1</sup> dan<sup>-1</sup>) uključeni su molarna masa CO<sub>2</sub> ( $M = 44,01 \times 10^{-3}$  kg mol<sup>-1</sup>), tlak zraka  $p$  u trenutku mjerenja (Pa), volumen komore  $V$  (m<sup>3</sup>), koncentracija CO<sub>2</sub> na početku  $c_1$  (μmol mol<sup>-1</sup>) i na kraju  $c_2$  (μmol mol<sup>-1</sup>) mjerenja, plinska konstanta  $R$  (J mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>), temperatura zraka u trenutku mjerenja  $T$  (K), površina komore  $A$  (m<sup>2</sup>) te vrijeme inkubacije  $t_2 - t_1$  (dan). Proračun je proveden prema Bilandžija i sur. (2016.) temeljem jednadžbe:



$$F_{CO_2} = \frac{M \times p \times V \times (c_2 - c_1)}{R \times T \times A \times (t_2 - t_1)} \quad (2.2.)$$

## 2.7. Bilanca ugljika u sustavu biljka, biljka-tlo, biljka-tlo atmosfera

Bilanca ugljika u nekom sustavu definirana je razlikom priliva i odliva ugljika u tom sustavu. Sukladno navedenom, u ovome radu priliv u sustavu *biljka* označava ugljik prisutan u dijelu biljke koji ostaje u agroekosustavu, odnosno ugljik u biomasi korijena i strništa, dok odliv predstavlja onaj sadržaj ugljika koji se nalazi u nadzemnom dijelu biomase i iznosi se iz agroekosustava (stabljika + list, oklasak, komušina, zrno). Priliv u sustavu *biljka-tlo* odnosi se na priliv sustava biljka i njegov sadržaj u tlu dok odliv u ovom sustavu predstavlja odliv sustava biljka i disanje tla. Bilanciranje ugljika u sustavu *biljka-tlo-atmosfera* razlikuje se od sustava biljka - tlo u ubrajanju emisije ugljikovog dioksida koja se oslobađa u atmosferu izgaranjem fosilnih goriva mehanizacijom koja se koristila tijekom uzgoja istraživanih kultura u odliv ovog sustava. Emisija iz mehanizacije izračunata je temeljem procijenjene potrošnje goriva potrebne za određene agrotehničke zahvate i koeficijenta konverzije (1L dizela = 2,64 kg CO<sub>2</sub>).

## 2.8. Statistička obrada podataka

Statistička obrada podataka provedena je u programu SAS (SAS 9.4, SAS Institute Inc.). Varijabilnosti između svih istraživanih parametara analizirane su analizom varijance (ANOVA) i testirani ukoliko je potrebno post-hoc (Fisher LSD) testom. Za sve testove, razina značajnosti je 5 %.

### 3. Rezultati i rasprava

Meteorološki uvjeti tijekom razdoblja istraživanja utvrđeni su temeljem podataka o temperaturi zraka i količini oborine prikupljenim na meteorološkoj postaji Osijek-Čepin (h=89 m n.m., 45°30'9''N, 18°33'41''E) iz redovne mreže postaja Državnog hidrometeorološkog zavoda.

#### 3.1. Meteorološki uvjeti tijekom razdoblja istraživanja

U tablici 3.1.1. prikazani su podaci o temperaturi zraka i količini oborine tijekom 2021. godine.

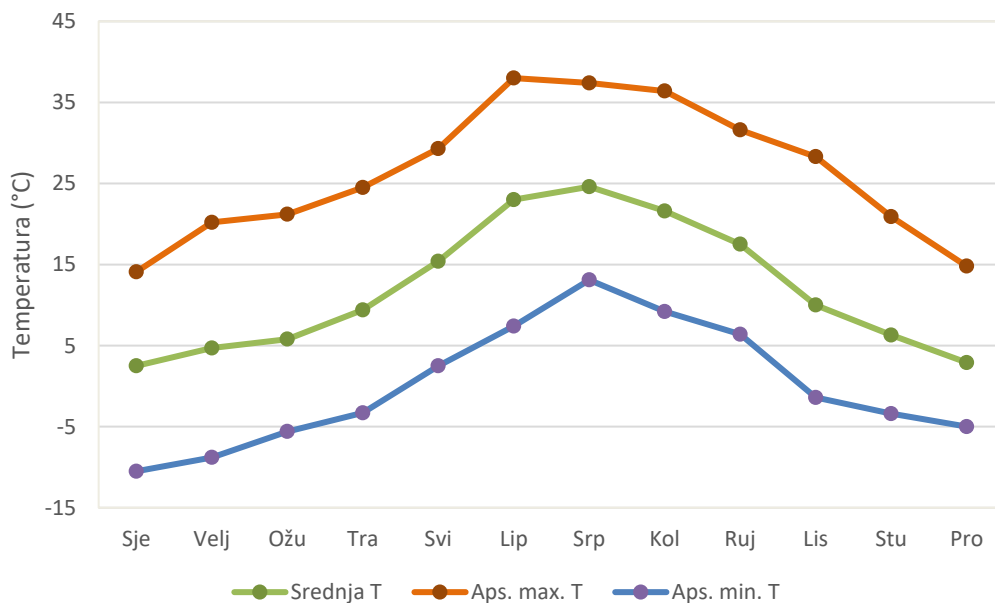
Tablica 3.1.1. Temperatura (°C) i oborina (mm) u 2021. godini

2021	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Sred
<b>srednja temp.</b>	2,5	4,7	5,8	9,4	15,4	23	24,6	21,6	17,5	10	6,3	2,9	12,0
<b>aps.max temp.</b>	14,1	20,2	21,2	24,5	29,3	38	37,4	36,4	31,6	28,3	20,9	14,8	38,0
<b>aps.min. temp.</b>	-10,5	-8,8	-5,6	-3,3	2,5	7,4	13,1	9,2	6,4	-1,4	-3,4	-5	-10,5
<b>količina oborine</b>	77,5	36,3	34,4	60,7	58,9	18,4	96,7	74,3	21,1	72,9	71	75,6	697,8

Izvor: DHMZ

#### Temperatura

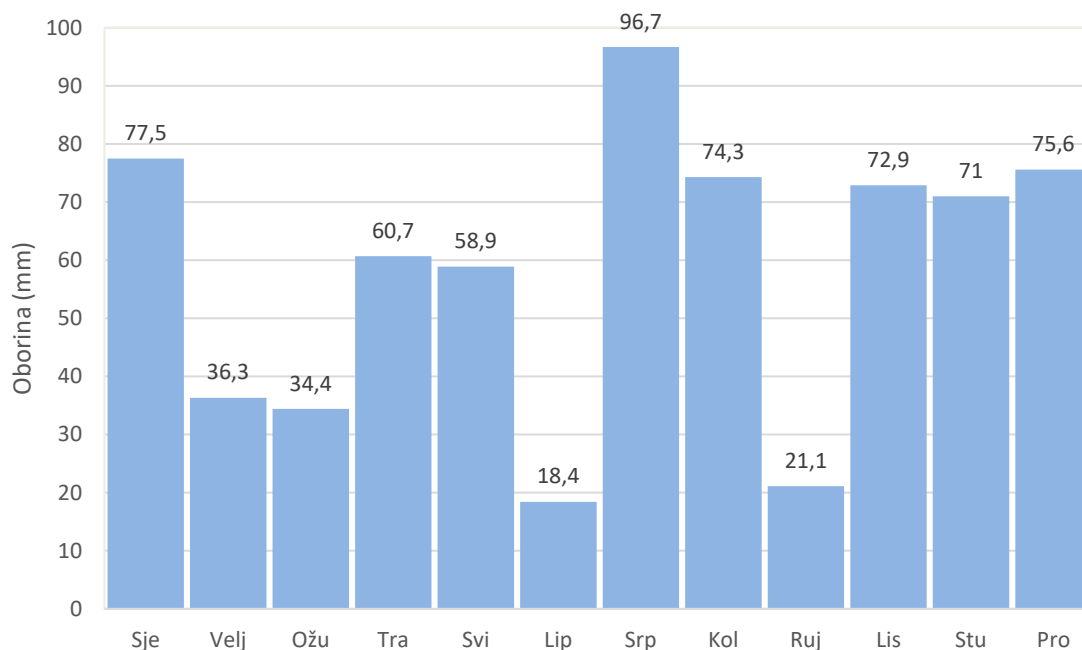
Prosječna temperatura zraka tijekom 2021. godine iznosila je 12,0 °C što je za 0,3 °C više od 28-godišnjeg prosjeka 1991. – 2018. Temperaturni maksimum od 38,0 °C dosegnut je u lipnju, temperaturni minimum od -10,0 °C u siječnju, dok je temperaturni minimum u vegetacijskom razdoblju zabilježen u travnju te je iznosio -3,3 °C. Graf 3.1.2. prikazuje najniže, najviše i srednje temperature zraka po mjesecima u 2021. g. na području Osijeka.



Graf 3.1.2. Srednje, najviše i najniže mjesečne temperature (°C) u 2021. g. na području Osijeka

### Količina oborine

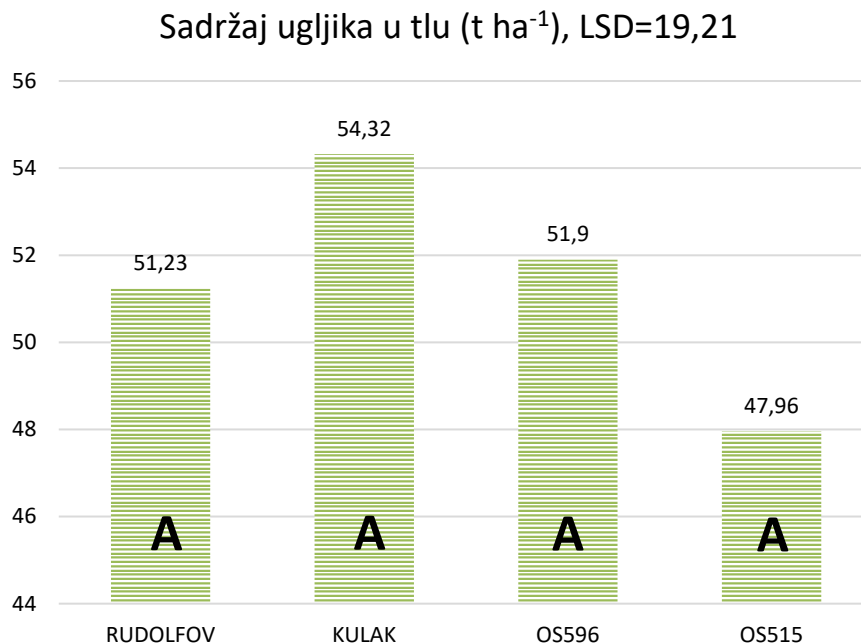
Ukupna količina oborine u istraživanoj godini iznosila je 687,8 mm što je za 19,2 mm manje od prosječne količine oborine razdoblja 1991. – 2018. Najveća količina oborine od 96,7 mm zabilježena je u srpnju, a najmanja od 18,4 mm u lipnju. U vegetacijskom razdoblju, od travnja do listopada, ukupno je palo 403,0 mm oborine. Na grafu 3.1.3. prikazane su mjesečne količine oborine tijekom 2021. g. na području grada Osijeka.



Graf 3.1.3. Mjesečna količina oborine (mm) tijekom 2021. g. na području Osijeka

### 3.2. Sadržaj ugljika u tlu

Statističkom analizom utvrđeno je da nema statistički značajne razlike u sadržaju ugljika u tlu među hibridima (Graf 3.2.1.). Srednja vrijednost sadržaja ugljika u tlu kretala se od 47,96 do 54,32 t ha<sup>-1</sup>. Prosječna vrijednost sadržaja ugljika u tlu svih istraživanih varijanata iznosi 51,35 ± 9,02 t ha<sup>-1</sup>.



Graf 3.2.1. Sadržaj ugljika u tlu prema varijantama pokusa (t ha<sup>-1</sup>)

Mjerenja su u skladu s istraživanjem Gregorich i sur. (2001) koji su u površinskom sloju tla do 0,3 m dubine utvrdili sadržaj ugljika za monokulturni uzgoja kukuruza od 55,60 t ha<sup>-1</sup>, a za sustav rotacije leguminoza (kukuruz – zob – lucerna – lucerna) 55,90 t ha<sup>-1</sup>. Istraživanje Petcu i sur. (2023) prikazuje utjecaj obrade tla na masu sekvestriranog ugljika u površinskom sloju tla do 0,05 m dubine pri uzgoju kukuruza te je utvrđen sadržaj od 15,18 t ha<sup>-1</sup> za tlo s izostavljenom obradom odnosno 10,40 t ha<sup>-1</sup> sekvestriranog organskog ugljika za tlo obrađeno plugom. S obzirom na približno linearni rast mase sekvestriranog ugljika na kultiviranim tlima do dubine tla od 0,3-0,4 m (Gregorich i sur., 2001; Thennarasu i sur., 2014; Zamir i sur., 2023), podaci iz istraživanja Petcu i sur. (2023) su u skladu s mjerenjima dobivenima u ovom istraživanju. Zamir i sur., (2023) za površinski sloj pjeskovito-praškastog tla (od 0 do 0,3 m) su utvrdili sadržaj od 23,90 t C ha<sup>-1</sup> kod konvencionalne obrade tla odnosno 25,90 t C ha<sup>-1</sup> kod izostavljene obrade tla. Podaci dobiveni u ovom istraživanju viši su od rezultata Zamir i sur., (2023) što je očekivano s obzirom na razliku u tipu tla.

### 3.3. Sadržaj ugljika u biljnom materijalu

U tablici 3.3.1. prikazane su srednje vrijednosti sadržaja ugljika u pojedinim dijelovima biomase za sve istraživane hibride.

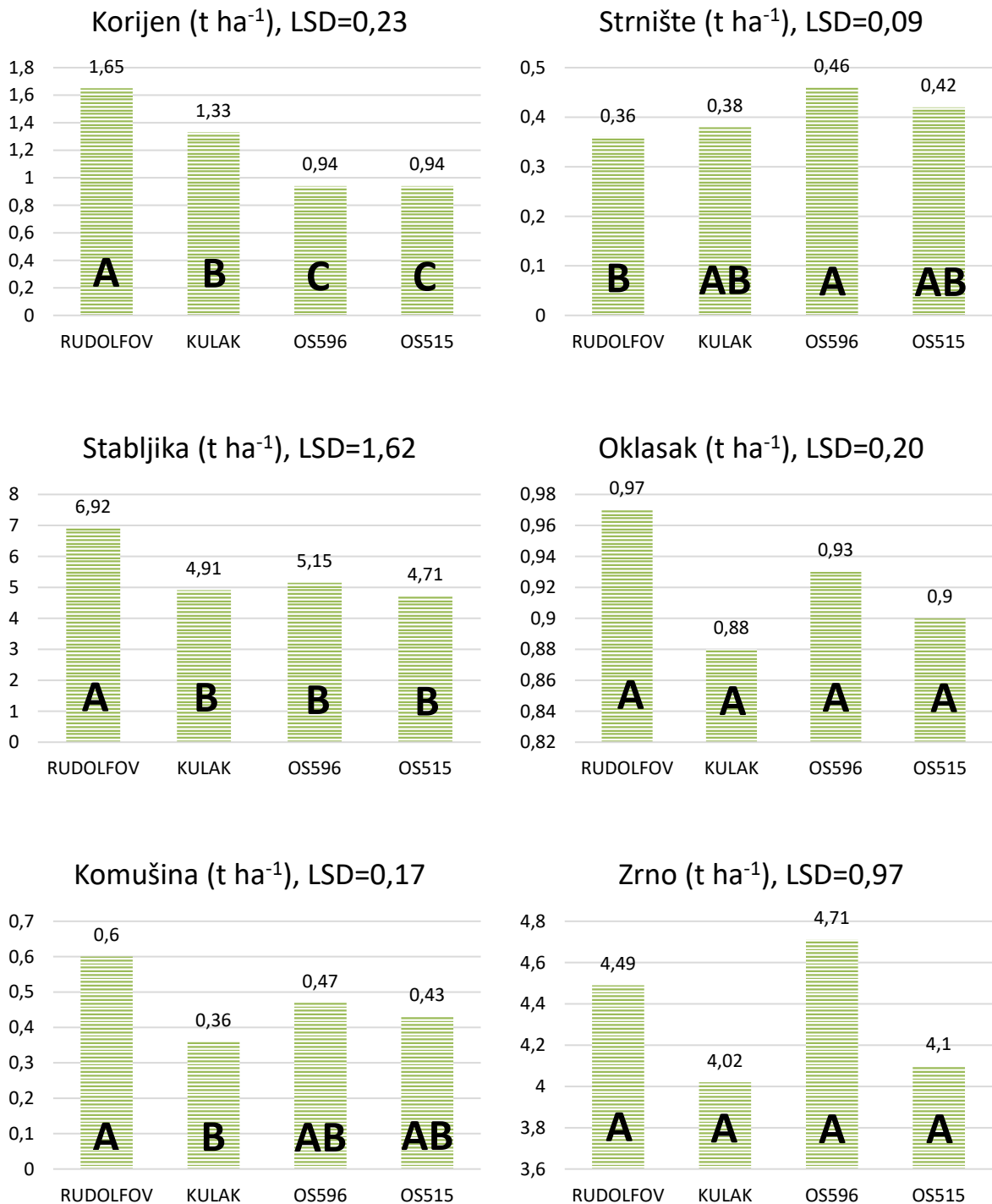
Tablica 3.3.1. Sadržaj ugljika ( $t\ ha^{-1}$ ) u biljnom materijalu, srednje, najviše i najniže izmjerene vrijednosti po hibridima

	Podzemni b.m.				Nadzemni b.m.							
	Korijen		Strnište		Stabljika		Oklasak		Komušina		Zrno	
	sr	sd	sr	sd	sr	sd	sr	sd	sr	sd	sr	sd
<b>sr</b>	1,21	0,33	0,4	0,06	5,42	1,17	0,91	0,1	0,47	0,12	4,33	0,53
<b>min</b>	0,85		0,31		3,88		0,75		0,28		3,61	
<b>max</b>	1,81		0,5		7,85		1,06		0,77		5,41	
<b>Ukupna sr</b>	1,61				11,13							

\* b.m. – biljni materijal, sr – srednja vrijednost, sd - standardna devijacija, max – maksimum, min – minimum

Na grafu 3.3.2. prikazani su rezultati statističke analize sadržaja ugljika u pojedinom dijelu biljnog materijala za svaki hibrid. Sadržaj ugljika u korijenu kreće se od 0,85 do 1,81  $t\ ha^{-1}$  uz ukupnu srednju vrijednost od 1,21  $t\ ha^{-1}$ . Utvrđeno je da je sadržaj ugljika u korijenu hibrida Rudolfov značajno viši od ostalih istraživanih hibrida. Hibrid Kulak također sadrži statistički značajno veću količinu ugljika u korijenu u odnosu na hibride OS 596 i OS 515. Među hibridima OS 596 i OS 515 nema statistički značajne razlike u sadržaju ugljika u korijenu. Sadržaj ugljika u strništu kreće se od 0,31 do 0,50  $t\ ha^{-1}$  uz ukupnu srednju vrijednost od 0,40  $t\ ha^{-1}$ . Sadržaj ugljika u strništu je značajno različit samo između hibrida Rudolfov u odnosu na OS 596 kod kojeg je utvrđena najveća količina uskladištenog ugljika u strništu, dok između ostalih istraživanih hibrida nije utvrđena značajna razlika. Sadržaj ugljika u stabljici kreće se od 3,88 do 7,85  $t\ ha^{-1}$ . Ukupna srednja vrijednost iznosi 5,42  $t\ ha^{-1}$ . Sadržaj ugljika u stabljici hibrida Rudolfov značajno je veći od onog ostalih istraživanih hibrida kukuruza među kojima nije utvrđena statistički značajna razlika. Sadržaj ugljika u oklasku kreće se od 0,75 do 1,06  $t\ ha^{-1}$ , a ukupna srednja vrijednost je 0,91  $t\ ha^{-1}$ . Među ispitivanim hibridima kukuruza nije utvrđena statistički značajna razlika u količini ugljika u oklasku. Sadržaj ugljika u komušini kreće se od 0,28 do 0,77  $t\ ha^{-1}$ . Ukupna srednja vrijednost iznosi 0,47  $t\ ha^{-1}$ . Sadržaj ugljika u komušini hibrida Rudolfov značajno je veći u odnosu na hibrid Kulak, no između ostalih istraživanih hibrida nije utvrđena statistički značajna razlika (Graf 3.3.2.). Sadržaj ugljika u zrnu kretao se između 3,61 i 5,41  $t\ ha^{-1}$ . Ukupna srednja vrijednost je 4,33  $t\ ha^{-1}$ . Nije utvrđena statistički značajna razlika u sadržaju ugljika u zrnu među hibridima.





Graf 3.3.2. Rezultati statističke analize srednjaka sadržaja ugljika u biljnom materijalu (t ha<sup>-1</sup>) ispitivanih hibrida

Pregledom literature, Amos i Walters (2006) utvrdili su 0,64 t ha<sup>-1</sup> ugljika u korijenu kukuruza, što je približno dvostruko manje od utvrđenih vrijednosti u ovom istraživanju, te 0,29 t ha<sup>-1</sup> u strništu što je u korelaciji s ovim istraživanjem. U istraživanju Zhao i sur. (2018), podzemnom biljnom materijalu pridodana je rizodepozicija te ukupna utvrđena vrijednost iznosi 3,00 t C ha<sup>-1</sup>. Jans i sur. (2010) utvrdili su 0,40 t ha<sup>-1</sup> ugljika u podzemnoj biomasi i 7,50 t ha<sup>-1</sup> u nadzemnoj biomasi što je manje od utvrđenih vrijednosti u ovome istraživanju. Wang i sur.

(2022) utvrđuju masu ugljika u suhoj tvari komušine u rasponu od 0,48 do 0,65 t ha<sup>-1</sup> što je u korelaciji s dobivenim mjerenjima. Prema Zhao i sur. (2018) komušina sadrži 10,0 % ugljika od sadržaja ugljika u stabljici što približno odgovara mjerenjima. S obzirom da rezultati iz pregleda literature donekle odstupaju od vrijednosti utvrđenih ovim istraživanjem, što se može pripisati različitoj morfologiji ispitivanih hibrida kao i uvjetima uzgoja, korisno je iznijeti da Grignani i sur. (2007) koriste srednjake udjela ugljika u suhoj tvari korijena, stabljike i komušine od 40,0 %, 45,0 % i 47,0 %. Navedeni postotci u korelaciji su sa srednjacima udjela ugljika u suhoj tvari biljnog materijala korištenima u ovom radu čije su vrijednosti svih mjerenja po hibridima redom 36,6 %, 46,1 % i 46,4 %.

### 3.4. Disanje tla

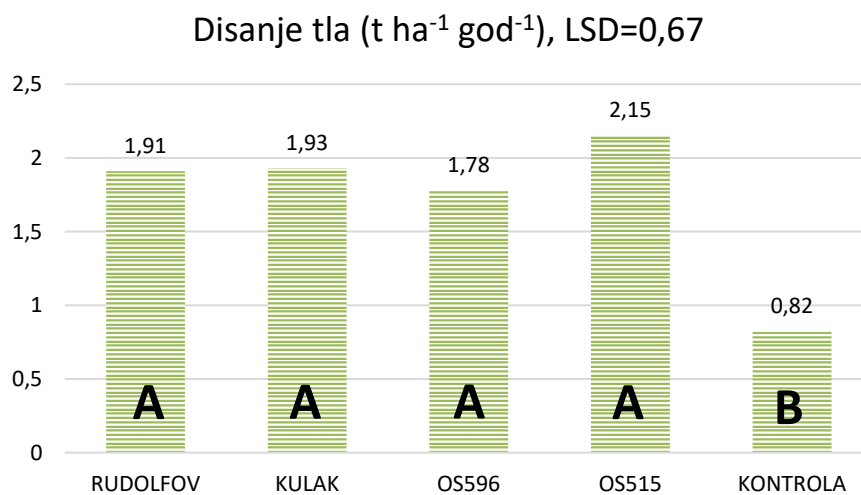
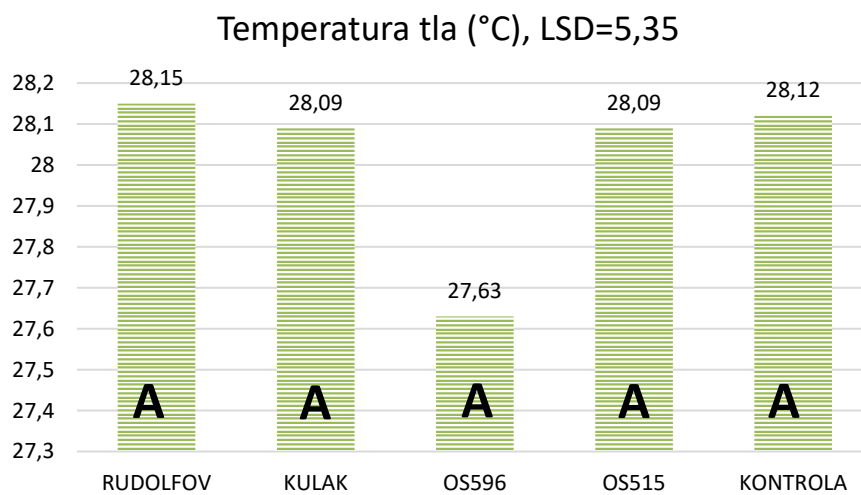
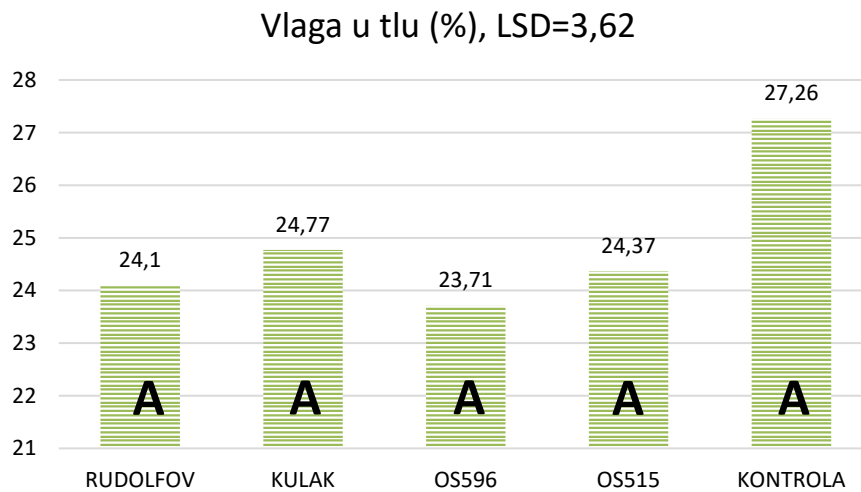
U tablici 3.4.1. prikazane su srednje vrijednosti i standardne devijacije za stupanj disanja tla i agroekološke uvjete (vlaga i temperaturu tla) tijekom vegetacijske sezone.

Tablica 3.4.1. Vlaga u tlu (%), temperatura tla (°C) i disanje tla (t ha<sup>-1</sup> god<sup>-1</sup>) na površini ispitivanih hibrida i kontrolnoj površini

	Vlaga		Temperatura		Disanje tla	
	sr	sd	sr	sd	sr	sd
<b>sr</b>	24,84	5,48	28,02	7,89	1,71	0,7
<b>min</b>	12,14		12,4		0,6	
<b>max</b>	35,89		39,5		3,69	

\* sr – srednja vrijednost, sd - standardna devijacija, max – maksimum, min – minimum, god – godišnja razina

Vlaga u tlu kretala se od 12,14 do 35,89 %, a temperatura od 12,4 do 39,5 °C. Analizom srednjih vrijednosti vlage, temperature i disanja tla (Graf 3.4.2.) utvrđeno je da nema statistički značajne razlike u sadržaju vlage u tlu kao niti temperaturi tla između pojedinih istraživanih hibrida kukuruza i kontrolnog polja. Godišnje odnosno vegetacijsko disanje tla (određeno u vegetacijskom razdoblju od svibnja do listopada) iznosi 1,91 t ha<sup>-1</sup> god<sup>-1</sup> za Rudolfov, 1,93 t ha<sup>-1</sup> god<sup>-1</sup> za Kulak, 1,78 t ha<sup>-1</sup> god<sup>-1</sup> za OS 596, 2,15 t ha<sup>-1</sup> god<sup>-1</sup> za OS 515 te 0,82 t ha<sup>-1</sup> god<sup>-1</sup> za kontrolno polje bez vegetacije (crni ugar). Vrijednost disanja tla kretala se od 0,60 do 3,69 t ha<sup>-1</sup> god<sup>-1</sup>. Disanje tla na crnom ugru značajno je niže od disanja tla na površinama sa istraživanim hibridima, međutim između ispitivanih hibrida kukuruza nije utvrđena značajna razlika u disanju tla.



Graf 3.4.2. Rezultati statističke analize za sadržaj vlage u tlu, temperature tla i disanja tla na površinama pod ispitivanim hibridima i kontrolnoj varijanti (crni ugar)

Ding i sur. (2007), na istraživanju provedenom u provinciji Henan u Kini, utvrdili su da se temperatura tla pod usjevom kukuruza u vegetacijskom razdoblju kreće od 19,0 do 34,0 °C što je manja amplituda od mjerenja utvrđenih ovim istraživanjem. Zabilježena je i veća amplituda udjela sadržaja vlage u tlu tijekom ispitivanog razdoblja od 20,3 do 73,8 %. Odstupanje mjerenja od literaturnih navoda pripisuje se razlici u klimi (semiaridna i subhumidna monsunska klima) i tipu tla (pjeskovita ilovača). Du i sur. (2021), na istraživanju provedenom u Kini, utvrdili su srednju prosječnu vlagu tla od 20,3 i 23,6 % u tlima s konvencionalnom obradom tla te, nešto viših, 20,8 % i 23,7 % u tlima s izostavljenom obradom. Srednja temperatura tla u ovom istraživanju iznosila je u prosjeku približno 25,0 °C. Rezultati za vlagu i temperaturu tla nešto su niži od onih dobivenih ovim istraživanjem.

Količina ugljika koji se otpušta iz tla u atmosferu procesima disanja tla u korelaciji je s vrijednostima utvrđenim od strane Ding i sur. (2007) koji su utvrdili da stupanj disanja tla na kontrolnom polju (golo tlo tretirano sa 150 kg N ha<sup>-1</sup>) iznosi 2,94 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> te 5,98 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> iz tla pod usjevom kukuruza. Navedeno mjerenje je ekvivalentno emisiji od 0,80 t ha<sup>-1</sup> i 1,63 t ha<sup>-1</sup> C-CO<sub>2</sub> iz tla. Gagnon i sur. (2016) su uspoređivali stupanj disanja tla na različitim tipovima tala te je utvrđena značajno manja emisija kod praškasto-glinastog tla u odnosu na druge tipove tala. Istražujući utjecaj gnojidbe na stupanj disanja tla, utvrđeno je kako stupanj disanja tla na negnojnim površinama iznosi 0,39 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> odnosno 0,12 t C ha<sup>-1</sup> a na tlima gnojnim dušičnim gnojivima 0,25 do 0,42 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> (0,70 do 0,11 t C ha<sup>-1</sup>). Istraživano tlo sadržavalo je 50,0 – 70,0 % vlage, a mjerenje je provedeno *in situ* nakon što su svi ispitivani uzorci svedeni na isti postotak vlažnosti i temperaturu (Gagnon i sur., 2016). Rezultati istraživanja Gagnon i sur. (2016) znatno su manji od onih prikazanih u ovom radu. Prema istraživanju utjecaja gnojidbe na disanje tla provedenom na usjevu kukuruza u Popovači, Galić i sur. (2023) utvrđuju da je disanje tla na kontrolom polju (crnom ugru) iznosilo 1,45 t C ha<sup>-1</sup> dok se vrijednost disanja tla pod usjevom kretala od 2,65 do 2,98 t C ha<sup>-1</sup> ovisno o tretmanu, što je više od rezultata dobivenih ovim istraživanjem.

### 3.5. Mehanizacija

U tablici 3.5.1. prikazana je korištena mehanizacija s procijenjenom potrošnjom goriva (dizela) te preračunata količina ugljika koja se otpušta u atmosferu izgaranjem fosilnih goriva poljoprivrednom mehanizacijom.

Tablica 3.5.1. količina ugljika koja se otpušta u atmosferu izgaranjem fosilnih goriva poljoprivrednom mehanizacijom.

Radna operacija	Radni stroj/oruđe	Potrošnja (L ha <sup>-1</sup> )	Emisija C-CO <sub>2</sub> (t ha <sup>-1</sup> )
<b>Osnovna obrada</b>	Kombinirano oruđe	27,07	0,02
<b>Dopunska obrada</b>	Teška klinasta drljača	29,65	0,02
	Sjetvospremač	29,65	0,02

<b>Sjetva</b>	Sijačica kukuruza	19,77	0,01
<b>Aplikacija herbicida</b>	Vučena prskalica	14,83	0,01
<b>Međuredna kultivacija/Aplikacija mineralnog gnojiva</b>	Kultivator s ralom u obliku pačjih nogu/ gnojidba deponiranjem	22,23	0,02
<b>Berba</b>	Samokretni kombajn za kukuruz	34,59	0,02
<b>Ukupna potrošnja</b>		177,79	0,13

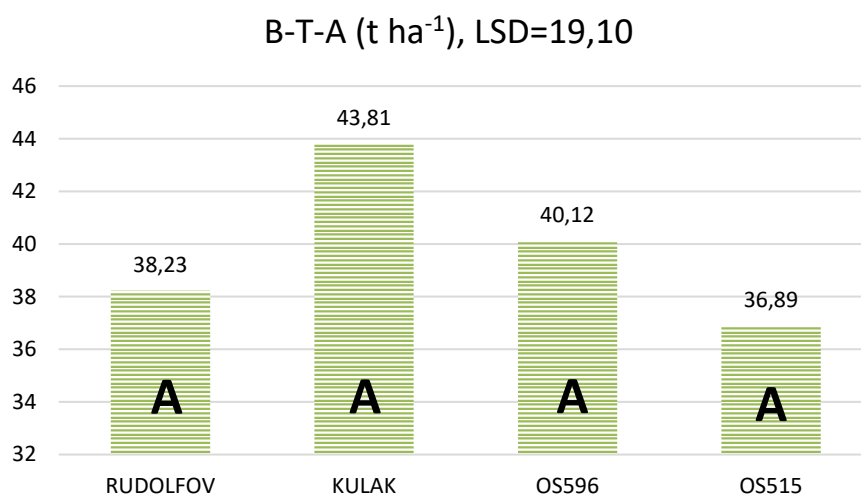
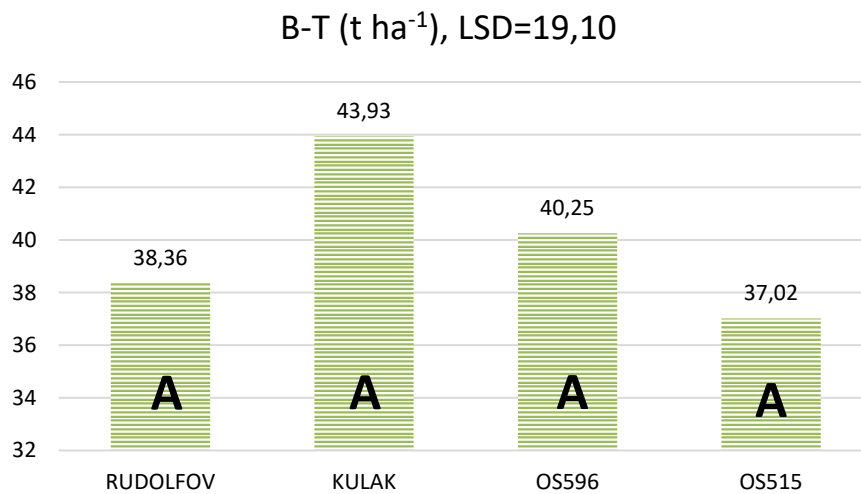
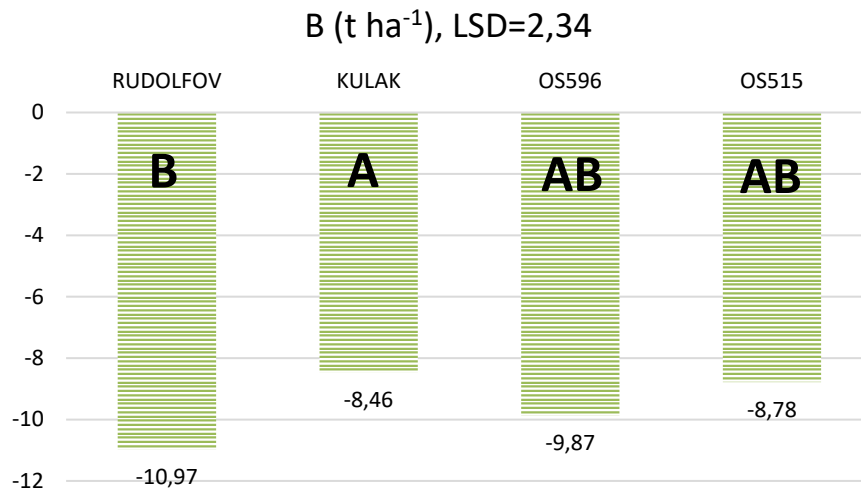
Izvor: izv. prof. dr. sc. Darija Bilandžija

Istraživanjem ugljičnog otiska proizvodnjom kukuruza Meena i sur. (2021) utvrdili su nešto nižu količinu oslobođenog ugljika izgaranjem dizela poljoprivrednom mehanizacijom od 0,09 t ha<sup>-1</sup> C-CO<sub>2</sub> odnosno 0,11 t ha<sup>-1</sup> C-CO<sub>2</sub> za West i Marland (2003). Potonje istraživanje uspoređuje primjenu mehanizacije pri intenzivnoj obradi tla i pri izostavljanju obrade. Pokazano je da izostavljanje obrade (osnovne i dopunske) dovodi do emisije od svega 0,05 t ha<sup>-1</sup> C-CO<sub>2</sub> što je u korelaciji s ovim istraživanjem koje bi, u takvom slučaju, mehanizacijom emitiralo 0,07 t ha<sup>-1</sup> C-CO<sub>2</sub>. Zelim i sur. (2023) su u svome radu također utvrdili signifikantno smanjenje emisije stakleničkih plinova ukoliko se primjenjuje izostavljena obrada tla pri uzgoju kukuruza. No, Wang i sur. (2015) su utvrdili nižu potrošnju dizela poljoprivrednom mehanizacijom pri uzgoju kukuruza naspram one utvrđene u ovom radu. Potrošnja dizela prema autorima iznosila je 128,50 L ha<sup>-1</sup>, a emisija ugljika 1,28 t ha<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> odnosno 0,35 t ha<sup>-1</sup> C-CO<sub>2</sub>. Rezultati nisu u korelaciji s onima dobivenima u ovom radu što se može pripisati uračunavanju radne snage u izračun emisije ugljika mehanizacijom.

### 3.6. Bilanca ugljika u sustavu biljka, biljka-tlo, biljka-tlo atmosfera

#### 3.6.1. Statistička analiza bilance ugljika

Bilanca ugljika u sustavu *biljka* (B) kretala se od -10,97 do -8,46 t ha<sup>-1</sup>. Bilanca u sustavu *biljka-tlo* (B-T) kretala se od 37,02 do 43,93 t ha<sup>-1</sup>, a bilanca sustava *biljka-tlo-atmosfera* (B-T-A) od 36,89 do 43,81 t ha<sup>-1</sup>. Graf 3.6.1. pokazuje statističku analizu provedenog bilanciranja za istraživane hibride. Statističkom analizom podataka utvrđeno je kako u sustavu biljka postoji značajna razlika između hibrida Rudolfov i Kulak dok između ostalih istraživanih hibrida ne postoji značajna razlika. S obzirom na prisustvo značajne razlike u sadržaju ugljika u pojedinim dijelovima biljnog materijala među hibridima, statistička razlika među hibridima u sustavu *biljka* je očekivana. Za provedeno bilanciranje u sustavima *biljka-tlo* i *biljka-tlo-atmosfera* nije utvrđena statistički značajna razlika između istraživanih hibrida.



Graf 3.6.1. Rezultati statističke analize bilance ugljika (t ha<sup>-1</sup>) u sustavu biljka, biljka-tlo, biljka-tlo-atmosfera

### 3.6.2. Bilanca u sustavu *biljka*

Bilanca ugljika u sustavu *biljka* je negativna što je očekivani rezultat s obzirom da je većina ugljika u biljci pohranjena u nadzemnom dijelu biljke. Omjer korijen-stabljika kreće se od 0,68 do 0,15 (Anderson, 1988; Benjamin i sur., 2014). Korijen biljke razvija se i odumire s nadzemnim dijelom biljke, i obrnuto. Pod stresom deficita vode, ovaj omjer se ne mijenja (Benjamin i sur., 2014). Pod stresom deficita sunčeve svjetlosti ovaj se omjer donekle smanjuje (Hébert i sur., 2001). Stoga je odabirom položaja usjeva na zasjenjenoj površini i odabirom gustog sklopa sjetve moguće povećati odlive žetvom iz ovog sustava. Utječe li se na smanjenje biomase odliva ovog sustava, utječe se negativno i na priliv sustava.

Kako bi se nadomjestio ugljik iznesen iz sustava *biljka*, na površini tla je potrebno ostaviti, odnosno ne iznositi, nadzemnu biljnu masu. Na poljoprivrednoj površini usjeva Rudolfov potrebno je ostaviti 28,5 t ha<sup>-1</sup> suhe tvar, za Kulak 23,0 t ha<sup>-1</sup>, za OS 596 25,4 t ha<sup>-1</sup> i za OS 515 23,0 t ha<sup>-1</sup> suhe tvari nadzemnog biljnog materijala kukuruza. Uzimajući u obzir da u trenutku žetve biljni materijal stabljike, komušine i oklaska sadrži otprilike 35,0 % suhe tvari, a zrno 90,0 % dok je ostatak mase voda (Kitaw i sur., 2024), izračunata je masa svježeg biljnog materijala koju je potrebno ostaviti na površini tla te za Rudolfov iznosi 43,0 t ha<sup>-1</sup>, za Kulak 34,0 t ha<sup>-1</sup>, za OS 596 37,0 t ha<sup>-1</sup> i za OS 515 34,0 t ha<sup>-1</sup>.

### 3.6.3. Bilanca u sustavu *biljka-tlo*

Bilanca ugljika u sustavu *biljka-tlo* je pozitivna. Od sustava biljka se razlikuje po odlivu ugljika procesima disanja tla (od 2,09 do 2,52 t ha<sup>-1</sup>) i po prilivu odnosno sadržaju ugljika u tlu koji najviše pridonosi ukupnom prilivu ugljika; od 47,96 do 54,32 t ha<sup>-1</sup> ovisno o hibridu. Žetvom i disanjem tla crpi se rezervoar ugljika u tlu. Iznošenje nadzemnog biljnog materijala iz ovakvog sustava dovodi do pada razine SOC-a u tlu što je utvrđeno i na sedmogodišnjem istraživanju na kontrolnom polju bez gnojidbe (usjev kukuruza koji se ne gnoji i kojem se žetvom iznosi sav nadzemni biljni materijal) (Zhao i sur., 2018). S toga je potrebno povratiti ugljik u agroekosustav gnojidbom kako se ovo pohranište ne bi iscrpilo. Na primjeru ovog istraživanja odliv disanjem tla i žetvom iznosi 14,89 t C ha<sup>-1</sup> za Rudolfov, 12,10 t C ha<sup>-1</sup> za Kulak, 13,04 t C ha<sup>-1</sup> za OS 596 i 12,29 t C ha<sup>-1</sup> za OS 515. Prosječna vrijednost potrebnog povrata ugljika u ovaj sustav za održavanje terestričkog pohraništa je 12,84 t ha<sup>-1</sup>.

Unos ugljika u sustavu *biljka-tlo* ostvaruje se gnojidbom, ostavljanjem biljnih ostataka na površini tla i njihovim zaoravanjem te primjenom biougljena. Gnojidbom s 6,73 t ha<sup>-1</sup> poboljšanog stajskog gnoja u tlo je moguće povratiti 4,06 t C ha<sup>-1</sup>, a gnojidbom s 5,95 t ha<sup>-1</sup> lumbripostom u tlo je moguće povratiti 3,47 t C ha<sup>-1</sup> (Thennarasu i sur., 2014). Pri tome je poboljšani stajski gnoj mješavina životinjskog izmeta, urina i kućnog komposta, adekvatno skladišten u prekrivenoj jami i okretan u intervalima od dva tjedna. Standardnim stajskim gnojem u ovom istraživanju sekvstrirano je 3,06 t C ha<sup>-1</sup>. Grignani i sur. (2007) 11 godišnjim istraživanjem je utvrdio da se gnojenjem usjeva kukuruza stajskim gnojem ili gnojnicom uz

Dodatak uree postiže sekvestracija ugljika od 26,0 do 27,0 % od unesenog ugljika. Istraživanjem je dokazana sekvestracija od 1,10 i 2,20 t C ha<sup>-1</sup> pri gnojenju stajskim gnojem (20 i 40 t ha<sup>-1</sup> uz dodatak 100 kg ha<sup>-1</sup> uree) te 1,50 i 2,90 t C ha<sup>-1</sup> pri gnojenju gnojnicom (50 i 100 t ha<sup>-1</sup> uz dodatak 100 kg ha<sup>-1</sup> uree). Istraživanja pokazuju da gnojidba stajskim gnojem ili gnojnicom uz dodatak uree dovodi do povećanja proizvodnje biljnog materijala od 7,60 do 9,50 t ha<sup>-1</sup> u odnosu na kontrolni negnojani tretman (Scopel i sur., 2005). Iz navedenog se zaključuje da je adekvatnim odabirom organskog gnojiva ili njihovom kombinacijom moguće u tlo povratiti između 1,10 do 4,06 t C ha<sup>-1</sup>.

Prema J. Wang i sur. (2015), ostavljanjem biljnog materijala kukuruza na površini tla ugljik iz biomase doprinosi povećanju SOC-a s 28,0 do 40,0 % ukupnog unesenog ugljika. Prema Zhao i sur. (2018) ova je brojka znatno manja te iznosi 5,4 %. Provedena istraživanja rađena su na 20 godišnjim i 11 godišnjim usjevima. J. Wang i sur. (2015) tvrde da se primjenom ove metode dugoročno može uvelike doprinijeti povećanju sadržaja SOC-a u tlu. Ostavljanje biljnih ostataka drugih kultura koje mogu biti u rotaciji s kukuruzom, na primjer pšenice, također dolazi do sekvestracije ugljika, no te su brojke nešto niže (J. Wang i sur. 2015; Khan i sur., 2018). Ostavljanje biljnih rezidua može utjecati i na smanjenje pojave korova, a time i smanjiti potrebu za aplikacijom herbicida (Hou i sur., 2021).

U tlima obogaćenima s 3 % biougljena od kukuruznih oklasaka zabilježeno je 250,0 % više SOC-a u odnosu na netretirano tlo. Ovakva tla pokazala su viši indeks ugljikovog spremnika (Carbon pool indeks, CPI) i indeks upravljanja ugljikom (Carbon management indeks, CMI) te značajnu redukciju labilnog ugljika u tlu (Ali i sur., 2021). Na razini ovog istraživanja, to bi značilo da se pirolizom oklasaka i vraćanjem produkta biougljena u tlo u sustav moglo povratiti od 0,87 do 0,98 t ugljika ha<sup>-1</sup> ovisno o istraživanom hibridu. Iskorištavanjem biljnih ostataka za proizvodnju biougljena moguće je ostvariti zatvoreno kruženje ugljika u proizvodnji biomase kukuruza. Biougljen od kukuruznih oklasaka djeluje na povećanje vlage u listu i u tlu te na značajnu pozitivnu razliku u stabilnost tla pri stresu od suše (Ali i sur., 2021).

Gregorich i sur. (2001) utvrdili su do 20,0 t ha<sup>-1</sup> veću količinu SOC-a u tlu kod sustava uzgoja kukuruza s leguminoznom međusjevom u odnosu na monokulturni uzgoj kukuruza. Prema 35 godišnjem istraživanju, tlo pod kukuruzom s izostavljenom gnojidbom imao je približno 6,0 t ha<sup>-1</sup> nižu razinu ugljika od monokulturnog uzgoja kukuruza na kojem je primijenjena gnojidba. Međutim, utvrđeno je da monokulturni uzgoj usjeva, osim gubitaka u površinskom sloju tla do 0,2 m, dovodi i do značajnog crpljenja zaliha ugljika u sloju od 0,2 do 0,7 m dubine što navode kao 27,0 % više gubitaka u dubinskom sloju tla u usporedbi sa sustavom rotacije usjeva. Smanjenje odliva ugljika u svim slojevima tla i dovođenje terestričkog spremnika ugljika u stabilno stanje postignuto je kontinuiranim uzgojem isključivo livadne vlasnjače (*Poa pratensis*) na proizvodnim površinama (Gregorich i sur., 2001). Ma i sur. (2012) navode da rotacija kukuruza s leguminozama dovodi do 8,0 – 17,0 % manje emisije CO<sub>2</sub>. U ovom sustavu to bi značilo sekvestraciju ugljika od 0,14 do 0,29 t C ha<sup>-1</sup>. Pretpostavlja se da je soja kao



pretkultura hibridima u ovom istraživanju doprinijela smanjenju emisije. Osim što rotacija usjeva povećava potencijal zadržavanja ugljika u tlu, u ovakvim sustavima dolazi do povećanja terestričkog spremnika dušika te do rjeđe pojave štetnika i korova (Gregorich i sur., 2001). Potonje posljedično umanjuje potrebu za mjerama zaštite usjeva odnosno potrebu za aplikacijom sredstava za zaštitu bilja, koji mogu utjecati na degradaciju tla i smanjenje bioraznolikosti, te za korištenjem mehanizacije odnosno dodatnom emisijom ugljika u atmosferu. Istraživanjem Gregorich i sur. (2001) je utvrđeno da količina unosa ugljika gnojidbom nije osnovni faktor utjecaja na skladištenje ugljika u tlo. Naime, iako je aplikacija gnojiva kvantitativno prednjačila kod uzgoja monokulture kukuruza, sustavom rotacije usjeva postignuta je značajno veća sekvestracija ugljika u svim ispitanim slojevima tla (0 – 0,7 m).

Dodatnu sekvestraciju ugljika i smanjenje disanja tla moguće je ostvariti izostavljanjem obrade tla. Petcu i sur. (2023) navode gubitke terestričkog ugljika obradom tla podrivačem i plugom od 25,0 % i 31,0 %. Posljedica obrade tla je povećana aeracija tj. izmjena plinova što doprinosi povećanju disanja tla. Prema Petcu i sur. (2023) izostavljanjem obrade tla u tlu ostaje 4,78 t C ha<sup>-1</sup> više nego kod obrade plugom. Izostavljanje obrade prema Parihar i sur. (2016) dovodi do sekvestracije od 23,6 do 26,5 % više ugljika u površinskom sloju tla. Sukladno navedenom, na razini ovog istraživanja, izostavljanjem obrade sekvestriralo bi se do 13,06 t ha<sup>-1</sup>. Huang i sur. (2015) su utvrdili veću akumulaciju ugljika u površinskom sloju tla u korist izostavljanja obrade bez uklanjanja rezidua i s uklanjanjem biljnih rezidua uz gnojidbu u odnosu na konvencionalne metode obrade tla. Zaključak navedenog rada je da razlika u obradi tla ne dovodi do značajne razlike u skladištenju ugljika u dublje slojeve tla (do 0,6 m), ali naglašava pozitivan učinak gnojidbe i izostavljanja obrade tla na fizikalna svojstva tla i smanjenje degradacije tla. Kombinacijom izostavljanja obrade tla i sjetvom neleguminoznih međuusjeva moguće je ostvariti sekvestraciju od 1,01 t C ha<sup>-1</sup> god<sup>-1</sup> (Villat i Nicholas, 2024). Ostavljanje 1,50 t ha<sup>-1</sup> i 4,50 t ha<sup>-1</sup> biljnog materijala na površini dovodi do sekvestracije 14,0 % i 20,0 % više ugljika nego samom direktnom sjetvom odnosno izostavljanjem obrade (Scopel i sur., 2005; Bertalot i sur., 2014). No, iako smanjenje intenziteta obrade tla i izostavljanje obrade tla pozitivno utječu na sekvestraciju ugljika, prinosi takvih usjeva kukuruza su i do 36,0 % niži (Jug i sur., 2006).

Zatravljeno i negnojeno tlo, prema Gregorich i sur. (2007) sadrži 41,9 t C ha<sup>-1</sup> (do dubine 0,3 m) što je redom 15,0 i 14,8 t C ha<sup>-1</sup> više nego u tlima pod monokulturom kukuruza i u rotaciji kukuruza s leguminozama. Samim napuštanjem poljoprivrednih površina povrat iscrpljenih razina ugljika može potrajati desetljećima. Sustavi agrošumarstva bilježe sekvestracijski potencijal od 9,0 do 63,0 t C ha<sup>-1</sup> ovisno o klimatskom podneblju (Montagnini i sur., 2004). U agrošumskom sustavu moguće je uzgajati kukuruz, ali zbog smanjenja uzgojne površine i ovisno o odabiru i prostornoj organizaciji drugih uzgojnih kultura, ovakav sustav uzgoja kukuruza rezultira manjim prinosima (Nardini i sur., 2019).

Iz navedenih istraživanja zaključuje se da je, uz ostavljanje biljnih ostataka na površini tla, odabirom stajskog gnojiva i kombinacije organskih gnojiva, unosom biouglijena, međusjeka na bazi leguminoza i izostavljanjem obrade moguće u tlo vratiti iscrpljeni sadržaj ugljika. Potrebno je napomenuti da su navedena istraživanja provedena u različitim uvjetima (klima, hibridi, tip tla, agroekološki čimbenici, agrotehničke mjere) te se ne može sa sigurnošću utvrditi koliko se iscrpljenog ugljika može vratiti u sustav. Ukoliko se terestričko pohranište ovim metodama ne bi moglo vratiti u ravnotežu, dodatni ugljik mogao bi se sekvestrirati u tlo prenamjenom uzgojne površine u travnjak ili agrošumski sustav. Prema Muller-Lindenlauf (2009) uvođenjem malčiranja, rotacije usjeva i pokrovnih usjeva u konvencionalni sustav uzgoja ne postiže se značajna razlika u sadržaju SOC-a. Autorica iznosi sekvestracijski potencijal organske poljoprivrede od  $1,1 \text{ t C ha}^{-1} \text{ god}^{-1}$  te naglašava važnost prelaska cijelog poljoprivrednog sustava u organski sustav.

#### **3.6.4. Bilanca u sustavu *biljka-tlo-atmosfera***

U sustav *biljka-tlo-atmosfera* u proračun je pridodana količina ugljika koja se oslobađa izgaranjem fosilnih goriva poljoprivrednom mehanizacijom. Ovaj izvor izrazito je malen, no svejedno se može utjecati na njegovo smanjenje. Smanjenjem intenziteta ili izostavljanjem obrade tla u istraživanom sustavu može se postići smanjenje emisije za  $0,60 \text{ t C ha}^{-1}$  (West i Marland, 2003). Pregledom literature utvrđeno je da bioetanol dobiven iz kukuruza ne može biti korišten u poljoprivrednoj mehanizaciji zbog niske energetske vrijednosti (Buratti i sur., bez dat). U sustav *biljka-tlo-atmosfera* mogu biti pridodana mjerenja za respiraciju biljaka. Respiracija kukuruza kreće se od 1 do  $5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  što preračunato iznosi od  $0,002$  do  $0,01 \text{ t C ha}^{-1}$  u vegetacijskom razdoblju. Pregledom literature utvrđeno je da neka istraživanja u proračun bilance ugljika u sličnim sustavima uvrštavaju radnu snagu. Prema Wang i sur. (2015) takva emisija iznosi  $0,86 \text{ kg CO}_2$  po osobi odnosno  $2,34 \times 10^{-4} \text{ t C ha}^{-1}$  po osobi. Dobiveni iznosi ugljičnog otiska disanja biljke i radne snage neznatno bi utjecali na sveukupnu bilancu ugljika u ovom istraživanju.

S obzirom da je odnos ugljika i dušika ključan u metabolizmu biljke kukuruza te mogući limitirajući faktor proizvodnje (Swank i sur., 1982), potrebno je dodatno ispitati ovaj odnos kako bi se postigli rezultati koji idu u prilog kako sekvestraciji ugljika u biljku a posljedično i tlo, tako i povećanju prinosa kukuruza.

## 4. Zaključak

Ovim istraživanjem određena je količina ugljika u biljnom materijalu i tlu, disanje tla te agroekološki uvjeti za četiri hibrida kukuruza (Rudolfov 60, Kulak, OSSK 596 i OSSK 515). Statističkom analizom varijance utvrđen je odnos ugljika za sve mjerene parametre među hibridima te je pokazano da:

- nema statistički značajne razlike među hibridima u sadržaju ugljika u
  - u tlu (ukupna srednja vrijednost iznosila je  $51,35 \text{ t C ha}^{-1}$ ),
  - oklasku (ukupna srednja vrijednost iznosila je  $0,91 \text{ t C ha}^{-1}$ ),
  - zrnu (ukupna srednja vrijednost iznosila je  $4,33 \text{ t C ha}^{-1}$ ) i
  - u bilancama ugljika u sustavima *biljka-tlo* i *biljka-tlo-atmosfera*;
  
- postoji statistički značajne razlike među hibridima u sadržaju ugljika u
  - korijenu (Rudolfov i Kulak odstupa od OS 596 i OS 515; ukupna srednja vrijednost iznosila je  $1,21 \text{ t C ha}^{-1}$ ),
  - strništu (Rudolfov odstupa od OS 596, Rudolfov i OS 596 ne odstupaju od Kulak i OS 515; ukupna srednja vrijednost iznosila je  $0,40 \text{ t C ha}^{-1}$ ),
  - stabljici (Rudolfov odstupa naspram drugih hibrida; ukupna srednja vrijednost iznosila je  $5,42 \text{ t C ha}^{-1}$ ) i
  - komušini (Rudolfov odstupa od Kulaka, Rudolfov i Kulak ne odstupaju od OS 596 i OS, 515; ukupna srednja vrijednost iznosila je  $0,47 \text{ t C ha}^{-1}$ ),
  - u bilancama ugljika u sustavu *biljka* ;
  
- nema statistički značajne razlike među hibridima i kontrolnim poljem u
  - postotku vlage u tlu (ukupna srednja vrijednost iznosila je  $24,84 \%$ ) i
  - temperaturi tla (ukupna srednja vrijednost iznosila je  $28,02 \text{ }^{\circ}\text{C}$ );
  
- postoji statistički značajna razlike među hibridima i kontrolnim poljem u;
  - disanju tla (kontrolno polje odstupa od ispitivanih hibrida; ukupna srednja vrijednost iznosila je  $2,01 \text{ t ha}^{-1} \text{ god}^{-1}$ ).

Bilanca ugljika u sustavu *biljka* za hibride Rudolfov, Kulak, OS 596 i OS 515 iznosila je redom - 10,97, -8,46, -9,87 i -8,78 t C ha<sup>-1</sup>. Bilanca ugljika u sustavu *biljka-tlo* iznosila je 38,35, 43,93, 40,25 i 37,02 t C ha<sup>-1</sup> za pojedini hibrid. Bilanca u sustavu *biljka-tlo-atmosfera* 38,23, 43,81, 40,12 i 36,89 t C ha<sup>-1</sup>.

Kako bi se nadomjestio ugljik iznesen iz sustava *biljka*, na površini tla je potrebno ostaviti, odnosno ne iznositi, nadzemnu biljnu masu. Na poljoprivrednoj površini usjeva Rudolfov potrebno je ostaviti  $28,50 \text{ t ha}^{-1}$  suhe tvar, za Kulak  $23,0 \text{ t ha}^{-1}$ , za OS 596  $25,4 \text{ t ha}^{-1}$  i za OS

515 23,0 t ha<sup>-1</sup> suhe tvari nadzemnog biljnog materijala kukuruza. Osim iznošenjem nadzemnog biljnog materijala, ugljik iz agroekološkog sustava se crpi disanjem tla. Utvrđeno je da je potrebno vratiti u prosjeku 12,84 t ha<sup>-1</sup> ugljika u tlo, iscrpljenog iz sustava *biljka-tlo*, kako se rezervoar tla ne bi iscrpio te kako mu se ne bi smanjila plodnost. Pregledom literature utvrđeno je kako je spremnik tla moguće dovesti u ravnotežu metodama regenerativne poljoprivrede odnosno aplikacijom stajskog gnoja, lumbriposta ili kombinacijom organskih gnojiva (stajski gnoj, kompost, gnojnica, urea), unosom biouglijena, sjetvom međusjeka na bazi leguminoza, ostavljanjem biljnih rezidua na tlu i njihovim unosom u tlo. Pokazano je da se izostavljanjem obrade tla postiže smanjenje emisije korištenjem mehanizacije. Pregledom literature ne može se sa sigurnošću utvrditi sekvestracijski potencijal metoda regenerativne poljoprivrede za ovaj sustav ni iznos smanjenja emisije ugljika u atmosferu te je za takav rezultat potrebno provesti dodatna mjerenja.

## Popis literature

1. Acciaresi, H. A., Tambussi, E. A., Antonietta, M., Zuluaga, M. S., Andrade, F. H., & Guiamét, J. J. (2014). Carbon assimilation, leaf area dynamics, and grain yield in contemporary earlier-and later-senescing maize hybrids. *European journal of agronomy*, 59, 29-38.
2. Ali, L., Manzoor, N., Li, X., Naveed, M., Nadeem, S. M., Waqas, M. R., Khalid, M., Abbas, A., Ahmed, T., Li, B., i Yan, J. (2021). Impact of Corn Cob-Derived Biochar in Altering Soil Quality, Biochemical Status and Improving Maize Growth under Drought Stress. *Agronomy*, 11(11), 2300.
3. Amos, B., i Walters, D. T. (2006). Maize Root Biomass and Net Rhizodeposited Carbon. *Soil Science Society of America Journal*, 70(5), 1489–1503.
4. Anderson, E. L. (1988). Tillage and N fertilization effects on maize root growth and root:shoot ratio. *Plant and Soil*, 108(2)
5. Arshad, M. A., i Coen, G. M. (1992). Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture*, 7(1–2), 25–31.
6. Benjamin, J. G., Nielsen, D. C., Vigil, M. F., Mikha, M. M., i Calderon, F. (2014). Water deficit stress effects on corn (*Zea mays*, L.) root: shoot ratio. *Open Journal of Soil Science*, 2014.
7. Bertalot, M. J. A., Guerrini, I. A., Mendoza, E., i Pinto, M. S. V. (2014). Productivity, Leaf Nutrient Content and Soil Carbon Stocked in Agroforestry and Traditional Management of Maize (*Zea mays*, L.). *American Journal of Plant Sciences*, 05(06), 884–898.
8. Bilandžija, D., i Martinčić, S. (2021). Agroclimatic conditions of the Osijek area during referent (1961–1990) and recent (1991–2018) climate periods. *Hrvatski meteorološki časopis*, 54/55(54/55), 55–64.
9. Bilandžija, D., Zgorelec, Ž., i Kisić, I. (2016). Influence of tillage practices and crop type on soil CO<sub>2</sub> emissions. *Sustainability (Switzerland)*, 8(1).
10. Bronić, I. K. (2007). Kruženje ugljika i vode u prirodi praćeno izotopima. *Fiz. u Ekol.*-23. ljetna škola Mlad. fizičara, 50-59
11. Brozović, I., Regent, A., i Grgurević, M. (2014). Emisije stakleničkih plinova, osobito iz prometa (Prilog analizi emisija stakleničkih plinova, osobito iz prometa). *Zbornik Veleučilišta u Rijeci*, 2(1), 275-294
12. Buratti, C., Barbanera, M., i Fantozzi, F. (bez dat.). Environmental balance of bioethanol from corn grain: evaluation of different procedures of co-products allocation. In 16th European Biomass Conference i Exhibition (pp. 2-6)
13. Ding, W., Cai, Y., Cai, Z., Yagi, K., i Zheng, X. (2007). Soil Respiration under Maize Crops: Effects of Water, Temperature, and Nitrogen Fertilization. *Soil Science Society of America Journal*, 71(3), 944–951.

14. Du, K., Li, F., Qiao, Y., Leng, P., Li, Z., Ge, J., i Yang, G. (2021). Influence of no-tillage and precipitation pulse on continuous soil respiration of summer maize affected by soil water in the North China Plain. *Science of The Total Environment*, 766, 144384.
15. Farrelly, D. J., Everard, C. D., Fagan, C. C., i McDonnell, K. P. (2013). Carbon sequestration and the role of biological carbon mitigation: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 712–727.
16. Feely, R. A., Sabine, C. L., Lee, K., Berelson, W., Kleypas, J., Fabry, V. J., i Millero, F. J. (2004). Impact of Anthropogenic CO<sub>2</sub> on the CaCO<sub>3</sub> System in the Oceans. *Science*, 305(5682), 362–366.
17. Friedlingstein, P., O'sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Gregor, L., Hauck, J., ... i Zheng, B. (2022). Global carbon budget 2022. *Earth System Science Data Discussions*, 2022, 1-159
18. Gagnon, B., Ziadi, N., Rochette, P., Chantigny, M. H., Angers, D. A., Bertrand, N., i Smith, W. N. (2016). Soil-surface carbon dioxide emission following nitrogen fertilization in corn. *Canadian Journal of Soil Science*, 96(2), 219–232.
19. Galić, M., Bilandžija, D., & Zgorelec, Z. (2023). Influence of Long-Term Soil Management Practices on Carbon Emissions from Corn (*Zea mays* L.) Production in Northeast Croatia. *Agronomy*, 13(8), 2051.
20. Gougoulas, C., Clark, J. M., i Shaw, L. J. (2014). The role of soil microbes in the global carbon cycle: tracking the below-ground microbial processing of plant-derived carbon for manipulating carbon dynamics in agricultural systems. *94(12)*, 2362–2371.
21. Gregorich, E. G., Drury, C. F., i Baldock, J. A. (2001). Changes in soil carbon under long-term maize in monoculture and legume-based rotation. *Canadian Journal of Soil Science*, 81(1), 21–31.
22. Grignani, C., Zavattaro, L., Sacco, D., i Monaco, S. (2007). Production, nitrogen and carbon balance of maize-based forage systems. *European Journal of Agronomy*, 26(4), 442–453.
23. Hébert, Y., Guingo, E., i Loudet, O. (2001). The Response of Root/Shoot Partitioning and Root Morphology to Light Reduction in Maize Genotypes. *Crop Science*, 41(2), 363.
24. Holloway, S., Pearce, J., Hards, V., Ohsumi, T., i Gale, J. (2007). Natural emissions of CO<sub>2</sub> from the geosphere and their bearing on the geological storage of carbon dioxide. *Energy*, 32(7), 1194–1201.
25. Hou, L., Yang, Y., Zhang, X., i Jiang, C. (2021). Carbon footprint for wheat and maize production modulated by farm size: a study in the North China plain. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 13(3), 302–319.
26. Huang, M., Liang, T., Wang, L., i Zhou, C. (2015). Effects of no-tillage systems on soil physical properties and carbon sequestration under long-term wheat–maize double cropping system. *CATENA*, 128, 195–202.
27. Jans, W. W. P., Jacobs, C. M. J., Kruijt, B., Elbers, J. A., Barendse, S., i Moors, E. J. (2010). Carbon exchange of a maize (*Zea mays* L.) crop: Influence of phenology. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 139(3), 316–324.

28. Jug, D., Stipešić, B., Juh, I., Stošić, M., i Kopas, G. (2006). Prinos kukuruza (*Zea Mays* L.) na različitim varijantama obrade tla. *Poljoprivreda*, 12(2), 5–10.
29. Karl, T. R., i Trenberth, K. E. (2003). Modern Global Climate Change. *Science*, 302(5651), 1719–1723.
30. Khan, A., Ali, N., i Haider, S. I. (2018). Maize productivity and soil carbon storage as influenced by wheat residue management. *Journal of Plant Nutrition*, 41(14), 1868–1878.
31. Kitaw, G., Terefe, G., Faji, M., Mengistu, G., Dejene, M., Fekadu, D., ... & Mekonnen, B. (2024). Effect of maize (*Zea mays* L.) genotypes, harvesting stages and ensiling periods on fermentation and nutritional value of silage. *Grass Research*, 4(1).
32. Kukal, S. S., Rehana-Rasool, i Benbi, D. (2009). Soil organic carbon sequestration in relation to organic and inorganic fertilization in rice–wheat and maize–wheat systems. *Soil and Tillage Research*, 102(1), 87–92.
33. Lal, R. (2008). Carbon sequestration. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1492), 815–830.
34. Lal, R., Negassa, W., i Lorenz, K. (2015). Carbon sequestration in soil. U *Current Opinion in Environmental Sustainability* (Sv. 15, str. 79–86). Elsevier B.V.
35. Li, C., Zhao, C., Zhao, X., Wang, Y., Lv, X., Zhu, X., i Song, X. (2022). Beneficial Effects of Biochar Application with Nitrogen Fertilizer on Soil Nitrogen Retention, Absorption and Utilization in Maize Production. *Agronomy*, 13(1), 113.
36. Ma, B. L., Liang, B. C., Biswas, D. K., Morrison, M. J., i McLaughlin, N. B. (2012). The carbon footprint of maize production as affected by nitrogen fertilizer and maize-legume rotations. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 94(1), 15–31.
37. Meena, B. P., Biswas, A. K., Singh, M., Das, H., Chaudhary, R. S., Singh, A. B., Shirale, A. O., i Patra, A. K. (2021). Energy budgeting and carbon footprint in long-term integrated nutrient management modules in a cereal- legume (*Zea mays* – *Cicer arietinum*) cropping system. *Journal of Cleaner Production*, 314, 127900.
38. Mistry, A. N., Ganta, U., Chakrabarty, J., i Dutta, S. (2019). A review on biological systems for  $\text{CO}_2$  sequestration: Organisms and their pathways. *Environmental Progress i Sustainable Energy*, 38(1), 127–136.
39. Montagnini, F., i Nair, P. K. R. (2004). Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *New Vistas in Agroforestry*, 281–295.
40. Müller-Lindenlauf, M. (2009). Organic agriculture and carbon sequestration. Possibilities and constrains for the consideration of organic agriculture within carbon accounting systems. Natural Resources Management and Environment Department, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome
41. Nardini, C., Sgarbossa, J., Schwerz, F., Elli, E. F., Medeiros, S. L. P., i Caron, B. O. (2019). Growth and solar radiation use efficiency of corn cultivated in agroforestry systems. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 31(7), 535-543.

42. Petcu, E., Lazar, C., Partal, E., Contescu, L., i Horhocea, D. (2023). The influence of genotype, soil tillage and fertilisation on carbon sequestration in maize. *Journal of Applied Life Sciences and Environment*, 55(3 (191)), 351–361.
43. Schlesinger, W. H., i Andrews, J. A. (2000). Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochemistry*, 48(1), 7–20.
44. Scopel, E., Findeling, A., Guerra, E. C., i Corbeels, M. (2005). Impact of direct sowing mulch-based cropping systems on soil carbon, soil erosion and maize yield. *Agronomy for Sustainable Development*, 25(4), 425–432.
45. Shukla, P. R., Skea, J., Calvo Buendia, E., Masson-Delmotte, V., Pörtner, H. O., Roberts, D. C., ... i Malley, J. (2019). IPCC, 2019: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems
46. Soulet, G., Hilton, R. G., Garnett, M. H., Roylands, T., Klotz, S., Croissant, T., ... & Le Bouteiller, C. (2021). Temperature control on CO<sub>2</sub> emissions from the weathering of sedimentary rocks. *Nature Geoscience*, 14(9), 665-671.
47. Srivastava, P., Kumar, A., Behera, S. K., Sharma, Y. K., & Singh, N. (2012). Soil carbon sequestration: an innovative strategy for reducing atmospheric carbon dioxide concentration. *Biodiversity and Conservation*, 21, 1343-1358.
48. Swank, J. C., Below, F. E., Lambert, R. J., i Hageman, R. H. (1982). Interaction of Carbon and Nitrogen Metabolism in the Productivity of Maize. *Plant Physiology*, 70(4), 1185–1190.
49. Španjol, Ž., Barčić, D., i Rosavec, R. (2004). Mogućnosti šumskog poljodjelstva (agrošumarstva) u Hrvatskoj. Zbornik radova Agrometeorologija u službi korisnika. Klimatske promjene i poljoprivreda, 27.
50. Thennarasu, A., Sivakumar, T., Meenakshisundaram, S. M., Sankaran, V., i Thanga, T. V. (2014, June). Carbon sequestration potential of fodder maize (*Zea mays* L.) influenced by manure treatment techniques. In *International Conference on Food, Agriculture and Biology (FAB-2014)* (pp. 11-12).
51. Tokgöz, N. (2010). Numerical Analysis of Worldwide CO<sub>2</sub> Emissions and Effects on Atmospheric Warming in Turkey. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 32(8), 769–783.
52. Villat, J., i Nicholas, K. A. (2024). Quantifying soil carbon sequestration from regenerative agricultural practices in crops and vineyards. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1234108.
53. Wang, H., Yang, Y., Zhang, X., i Tian, G. (2015). Carbon Footprint Analysis for Mechanization of Maize Production Based on Life Cycle Assessment: A Case Study in Jilin Province, China. *Sustainability*, 7(11), 15772–15784.
54. Wang, J., Wang, X., Xu, M., Feng, G., Zhang, W., Yang, X., i Huang, S. (2015). Contributions of wheat and maize residues to soil organic carbon under long-term rotation in north China. *Scientific reports*, 5(1), 11409.



55. Wang, Z., Chen, J., Zhang, J., Tan, X., Ali Raza, M., Ma, J., Zhu, Y., Yang, F., i Yang, W. (2022). Assessing canopy nitrogen and carbon content in maize by canopy spectral reflectance and uninformative variable elimination. *Crop Journal*, 10(5), 1224–1238.
56. West, T. O., i Marland, G. (2003). Net Carbon Flux from Agriculture: Carbon Emissions, Carbon Sequestration, Crop Yield, and Land-Use Change (Sv. 63, Izdanje 1).
57. Yang, W., Yang, M., Wen, H., i Jiao, Y. (2018). Global Warming Potential of CH<sub>4</sub> uptake and N<sub>2</sub>O emissions in saline–alkaline soils. *Atmospheric Environment*, 191, 172–180.
58. Zamir, S. I., Ellahi, M., Ullah, M. S., i Mehmood, F. (2023). Carbon Footprint and Life-cycle Cost of Maize (*Zea mays* L.) Production at Conventional and Regenerative Agricultural Practices. *Journal of Quality Assurance in Agricultural Sciences*, 3(01), 33–37.
59. Zhao, H., Shar, A. G., Li, S., Chen, Y., Shi, J., Zhang, X., i Tian, X. (2018). Effect of straw return mode on soil aggregation and aggregate carbon content in an annual maize-wheat double cropping system. *Soil and Tillage Research*, 175, 178–186.

#### Poveznice

1. IPCC (2001). Climate change 2001. url: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR\\_TAR\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_TAR_full_report.pdf) - 1.9.2024.
2. IPCC (2023). AR6 Synthesis Report. Climate Change 2023. url: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/> - 1.9.2024.
3. Poljoprivredni institut Osijek (2020). Katalog Poljoprivrednog instituta Osijek: Proljeće 2020 - KUKURUZ | SOJA | SUNCOKRET LUCERNA | JARI JEČAM, Poljoprivredni institut Osijek | 2020. url: <https://www.poljinos.hr/wp-content/uploads/2022/04/Poljinos-katalog-proljece-2020..pdf> - 10.9.2024.

#### Protokoli

1. HRN 11508:2004 - <https://repozitorij.hzn.hr/norm/HRN+ISO+11508%3A2004>
2. HRN ISO 10390:2005 - <https://repozitorij.hzn.hr/norm/HRN+ISO+10390%3A2005>
3. HRN ISO 10693:2004 - <https://repozitorij.hzn.hr/norm/HRN+ISO+10693%3A2004>
4. HRN ISO 10694:2004 - <https://repozitorij.hzn.hr/norm/HRN+ISO+10694%3A2004>
5. HRN ISO 11260:2004 - <https://repozitorij.hzn.hr/norm/HRN+ISO+11260%3A2004>
6. HRN ISO 11272:2004 - <https://repozitorij.hzn.hr/norm/HRN+ISO+11272%3A2004>
7. HRN ISO 11464:2006 - <https://repozitorij.hzn.hr/norm/HRN+ISO+11464%3A2009>
8. HRN ISO 11465:2004 - <https://repozitorij.hzn.hr/norm/HRN+ISO+11465%3A2004>
9. HRN ISO 13878:2004 - <https://repozitorij.hzn.hr/norm/HRN+ISO+13878%3A2004>
10. HRN ISO 14235:2004 - <https://repozitorij.hzn.hr/norm/HRN+ISO+14235%3A2004>
11. HRN ISO 15178:2005 - <https://repozitorij.hzn.hr/norm/HRN+ISO+15178%3A2005>
12. ISO 10381-1 do 8 (2001-2006) - <https://www.iso.org/standard/30941.html>

## Životopis

Sara Medak rođena je u Splitu 1996. g. gdje pohađa osnovnu školu te opću gimnaziju „Marko Marulić“. Obrazovanja nastavlja u Zagrebu gdje 2015. g. upisuje studij Geofizike na Prirodoslovno matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Tijekom studiranja odrađuje praksu na Institutu za oceanografiju i ribarstvo gdje pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Ivica Vilibića, u sklopu doktorskog rada dr. sc. Petre Zemunik, istražuje frekventnost pojave meteotsunamija na području Australije. Nakon završenog preddiplomskog studija, 2021. g. upisuje diplomski studij Ekološke poljoprivrede i agroturizma na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Studentsku praksu odrađuje u Analitičkom laboratoriju Zavoda za opću proizvodnju bilja i u proizvodnom pogonu agrocentra „Sjeme d.o.o.“. Tijekom studiranja aktivno sudjeluje u organizaciji i vođenju inicijative „Studentski vrt“ u sklopu koje drži predavanje o urbanim vrtovima i kružnoj ekonomiji na projektu „Simulacija lokalnih izbora“. U ožujku 2022. g. zapošljava se na regenerativnom sintropijskom imanju obitelji Bota (Održivo d.o.o.) gdje kroz rad, primjer i vodstvo uči o sintropijskoj poljoprivredi, regenerativnoj poljoprivredi, agrošumarstvu i *market gardeningu*. U listopadu 2023. g. završava tečaj permakulturnog dizajna u Tramontiju, u Italiji, pod vodstvom predavača iz ekosela Cob (Larissa, Grčka). U siječnju 2024. g. seli se u Andaluziju u Španjolskoj gdje radi kao asistent u restauraciji ekosustava polupustinje u sklopu neformalnog edukacijskog projekta „Sunseed Desert Technology“. U unikatnom ekosustavu oaze u polupustinji uči o obnovi aridnih i semiaridnih područja, menadžmentu vode, prikupljanju i čuvanju sjemena, autohtonim i zaštićenim biljnim vrstama i uzgoju istih u prirodnom habitatu imitirajući prirodnu sukcesiju. Dodatna znanje i vještine dobiva na edukativno-volonterskom kampu „Dinara back to LIFE“ (Ježević) gdje sudjeluje kao volonter u restauraciji ekosustava travnjaka u svrhu zaštite ornitoloških vrsta, te kao sudionik na Erasmus+ treninzima „Sew the future“ (Fužine) i „Renewable energy for community resilience“ (Skala, Grčka). Od djetinjstva se bavi fotografijom te kroz studiranje radi kao fotografkinja vjenčanja i drugih događanja. Svojim fotografskim radom doprinosi udruzi za očuvanje ekosustava doline Neretve „Lijepa naša“.