



Sveučilište u Zagrebu

AGRONOMSKI FAKULTET

Marija Galić

**DINAMIKA DISANJA TLA U VEGETACIJI
RATARSKIH KULTURA**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF AGRICULTURE

Marija Galić

**SOIL RESPIRATION DYNAMICS IN
ARABLE CROPS VEGETATION**

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu

AGRONOMSKI FAKULTET

Marija Galić

**DINAMIKA DISANJA TLA U VEGETACIJI
RATARSKIH KULTURA**

DOKTORSKI RAD

Mentor:

Prof.dr.sc. Željka Zgorelec

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF AGRICULTURE

Marija Galić

**SOIL RESPIRATION DYNAMICS IN
ARABLE CROPS VEGETATION**

DOCTORAL THESIS

Supervisor:

Prof.dr.sc. Željka Zgorelec

Zagreb, 2024.

Bibliografski podaci:

Znanstveno područje: Biotehničko područje

Znanstveno polje: Poljoprivreda (Agronomija)

Znanstvena grana: Ekologija i zaštita okoliša

Institucija: Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zavod za Opću proizvodnju bilja

Voditelj doktorskog rada: prof. dr. sc. Željka Zgorelec

Broj stranica:

Broj slika: 59

Broj tablica: 48

Broj priloga: 0

Broj literaturnih referenci: 389

Datum obrane doktorskog rada:

Sastav povjerenstva za obranu doktorskog rada:

Rad je pohranjen u:

Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu, Ulica Hrvatske bratske zajednice 4 p.p. 550, 10 000 Zagreb, Knjižnici Sveučilište u Zagrebu Agronomskog fakulteta, Svetošimunska cesta 25, 10 000 Zagreb.

Tema rada prihvaćena je na sjednici Fakultetskog vijeća Sveučilište u Zagrebu Agronomskog fakulteta, održanoj dana ..., te odobrena na sjednici Senata Sveučilišta u Zagrebu, održanoj dana ...

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZJAVA O IZVORNOSTI

Ja, **Marija Galić**, izjavljujem da sam samostalno izradila
doktorski rad pod naslovom:

**DINAMIKA DISANJA TLA U VEGETACIJI RATARSKIH
KULTURA**

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedina autorica ovoga doktorskog rada;
- da je doktorski rad izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni;
- da sam upoznata s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

Zagreb, 2024. godine.

Potpis doktorandice

Disertaciju je ocjenjivalo Povjerenstvo za ocjenu disertacije u sastavu:

1. _____

Titula, Institucija

2. _____

Titula, Institucija

3. _____

Titula, Institucija

Disertacija je obranjena na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu,
_____ pred Povjerenstvom u sastavu:

1. _____

Titula, Institucija

2. _____

Titula, Institucija

3. _____

Titula, Institucija

INFORMACIJE O MENTORU

Prof. dr. sc. Željka Zgorelec

Prof. dr. sc. Željka Zgorelec, rođena Vađić 1976. u Zagrebu, redovita je profesorica, predstojnica Zavoda i voditeljica analitičkog laboratorija za Opću proizvodnju bilja na Odsjeku za Agroekologiju na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Diplomirala je 2001. u području prirodnih znanosti, polje kemija, smjer Inženjerstvo okoliša na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu. Stupanj magistre znanosti stekla je 2006. g. iz prirodnih znanosti, polje kemija, smjer analitička kemija okoliša na istom fakultetu, a doktorica znanosti postala je 2009. iz biotehničkih znanosti, polje poljoprivreda, smjer ekologija i zaštita okoliša na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. U sklopu svog stručnog i znanstvenog usavršavanja završila je više od 70 različitih seminara, škola i tečajeva, a u sklopu znanstvenog, stručnog i pedagoškog usavršavanja na inozemnim istraživačkim i obrazovnim institucijama jedno vrijeme boravila je na: Univerzitetu Hohenheim, Stuttgart, Njemačka (2004. & 2005.); University of Natural Resources and Applied Life Sciences (BOKU), Beč, Austrija (2005., 2006. i 2015.); Sveučilište Szent Istvan, Godollo & Istraživački institut Sveučilišta Debrecen u Karcagu, Mađarska (2010. i 2011.); Malta College of Arts, Science and Technology (MCAST), Valletta, Malta (2011.); Institut za znanost o tlu, agrotehnologiju i zaštitu bilja „Nikola Poushkarov“, Sofija, Bugarska (2017.); Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem (UJEP), Fakultet za okoliš, Odsjek za tehničke znanosti (2019.) i Sveučilište u Mariboru (UM), Prirodoslovno-matematički fakultet, Odsjek za biologiju (2022.). Koordinatorica je ili suradnica na kolegijima: Agroklimatologija, Poljoprivreda i okoliš na Bs razini. Globalna ekologija, Rekultivacija i sanacija onečišćenih tala, Kemija tla i Agroklimatologija i klimatske promjene na Ms razini i Sustav znanstvenog i istraživačkog rada, Spektroskopske i analitičke metode u istraživanju agroekosustava i Održivo upravljanje tlom na doktorskoj razini. Glavni istraživački interesi i znanstvene aktivnosti su joj: agroekologija, analitička kemija okoliša, degradacija i zaštita tla, fitoremedijacija, upravljanje ugljikom i dušikom u tlu u kontekstu klimatskih promjena. Do danas je objavila više od 100 radova (stručnih i znanstvenih) i 15 poglavlja/knjiga. Sudjelovala je kao voditeljica ili suradnica u 10 međunarodnih i 7 domaćih znanstvenih i nastavnih projekata, te stručnih projekata (FP6, LIFE, ESF-Europska zaklada za znanost, MZOS, COST, NATO, HRZZ, EFRR, ESF – European Social Found , MP, MZOiP, Fond NEK, FZOiEU,...itd.).

Članica je: Hrvatskog tloznanstvenog društva (HTD); Društva Almae Matris Alumni Chemicarum Ingeniarum Zagrabienensis (AMACIZ), Hrvatskog udruženja za zaštitu zraka (HUZZ), Društva hrvatskih laboratorija (CROLAB) i PDNZ – Planinarskog društva „Novi Zagreb“. Dobitnica je Nagrade Mihovil Gračanin 2006. godine, Nagrade HTD-a za mlade znanstvenike i znanstvenu izvrsnost (2009.) te Medalje za izniman doprinos (2021.) Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Više informacija na:

<https://www.agr.unizg.hr/hr/member/133>

Bibliografija (CROSB): <https://www.croris.hr/osobe/profil/44?lang=hr>

Google znalac: <https://scholar.google.hr/citations?user=jz-fP1UAAAAJ&hl=hr>

ZAHVALA

SAŽETAK

Tijekom posljednjih nekoliko desetljeća, rastom globalne populacije raste i životni standard, a time i kumulativna razina emisije stakleničkih plinova. Upravo sve veće emisije stakleničkih plinova uzrokovane ljudskim aktivnostima, kao posljedica njihovog ispuštanja iz sektora energetike, industrije i poljoprivrede, dovode do njihove akumulacije u atmosferi, što rezultira promjenama u atmosferi, kopnu i oceanima. Od mnogih stakleničkih plinova, ugljikov dioksid (CO₂) predstavlja jedan od najvažnijih spojeva koji utječe na procese globalnog zagrijavanja te se smatra pokretačem globalnih klimatskih promjena. Kruženje ugljika u prirodi nezamislivo je bez tla kao bitne sastavnice okoliša, što potvrđuje da su tlo i klima oduvijek bili usko povezani. Stoga je bitno naglasiti kako je jedan od glavnih čimbenika u borbi protiv klimatskih promjena upravo tlo. S dvostruko većim sadržajem ugljika od atmosfere, ono značajno pridonosi bilanci ugljika. Upravo iz tog razloga, važno je pravilno upravljati tlom, usporavajući tempo klimatskih promjena kroz prakse poput smanjene obrade, pravilne gnojidbe te optimiziranog plodoreda u poljoprivredi. Cilj ove disertacije bio je terenskim mjerenjima utvrditi ovisnost emisije tla C-CO₂ o tipu gnojidbe (I.-kontrola; II.- N250 + P + K + 40 t/ha organskog krutog stajskog miješanog gnoja; III.-N300 + P + K; IV.-crni ugar - obrada bez sjetve) u tri vegetacijske godine (2016., 2017. i 2018.) za tri vrste usjeva (ozima pšenica, kukuruz i soja), te provesti bilanciranje odnosno utvrditi prilive i odlive ugljika iz tla na svim istraživanim tretmanima i utvrditi ovisnost o emisiji C-CO₂ iz tla. U vegetaciji ozime pšenice, prosječna godišnja emisija C-CO₂ iz tla iznosila je 17,96 kg ha⁻¹ dan⁻¹, u vegetaciji kukuruza 11,19 kg ha⁻¹ dan⁻¹, te u vegetaciji soje 13,17 kg ha⁻¹ dan⁻¹. Iz dobivenih rezultata, može se vidjeti kako se prosječna godišnja emisija C-CO₂ smanjivala redom ozima pšenica > soja > kukuruz. U sve tri godine istraživanja, prosječne mjesečne emisije C-CO₂ iz tla bile su znatno više u razdoblju kada je vegetacijski pokrov bio prisutan u odnosu na razdoblje bez njegove prisutnosti. Također, najniže prosječne godišnje vrijednosti emisije C-CO₂ zabilježene su na tretmanu s crnim ugarom tijekom sve tri godine istraživanja. Primijenjena mineralna gnojidba pokazala je najveći kumulativni godišnji gubitak emisijom u atmosferu (19,6 t C ha⁻¹), dok je tretman s primijenjenom organskom gnojidbom pokazao najveću srednju vrijednost sadržaja ugljika u tlu (64,7 t C ha⁻¹). S obzirom na dobivene rezultate, bitno je još jednom naglasiti važnost usvajanja održivih poljoprivrednih praksi kojima će se podići razine ugljika u tlu te smanjiti gubitci kroz emisije CO₂ u atmosferu.

Ključne riječi: C-CO₂ fluks, organska gnojidba, mineralna gnojidba, sadržaj ugljika u tlu, bilanca ugljika, temperatura tla, vlaga tla, prinos

EXTENDED SUMMARY

Soil respiration dynamics in arable crops vegetation

In recent, as the world's population has grown, the standard of living has risen and with it the cumulative level of greenhouse gas emissions. It is precisely the increasing emissions of greenhouse gasses caused by human activities that, through their release from the energy, industrial and agricultural sectors, lead to their accumulation in the atmosphere and to climate warming, resulting in changes in the atmosphere, on land and in the oceans. Among the numerous greenhouse gasses, carbon dioxide (CO₂) is one of the most important compounds affecting global warming and is considered to be the driving force of global climate change. The carbon cycle in nature is inconceivable without soil as an essential component of the environment, confirming that soil and climate have always been closely linked. It is therefore important to emphasize that one of the most important factors in the fight against climate change is precisely the soil. With a carbon content twice as high as in the atmosphere, it contributes significantly to the global carbon balance. In terrestrial ecosystems, soil respiration is therefore the key process linking the below-above-ground carbon cycle. As the second largest global component of carbon flux in terrestrial ecosystems, soil respiration contributes significantly to the greenhouse effect. This is precisely why it is important to manage the soil properly and slow down the pace of climate change through practices such as reduced tillage, proper fertilization and optimized crop rotations in agriculture. In addition to the mentioned practices, soil temperature, soil water content, soil C:N, amount of organic matter, microorganisms, presence and type of vegetation, soil pH and other factors also contribute to soil CO₂ emissions. It is also important to emphasize that the process of CO₂ formation in the soil is directly related to climatic factors such as air temperature and relative humidity, which affect soil temperature and relative soil moisture and thus carbon emission and sequestration.

Soil fertilization is considered as one of the most important agricultural measures for increasing productivity and yield. The application of fertilizers is of great importance for CO₂ emissions from the soil, which can vary by changing the amount and chemical composition of the fertilizer. High nitrogen concentrations in the soil, especially after fertilization, can stimulate microbe-mediated nitrogen transformation processes, so that any transformation of organic matter results in emissions to the environment. In addition, greenhouse gas emissions caused by the application of fertilizers are the largest source of total agricultural emissions.

The motivation for the research in this doctoral thesis lies in the scientific interest to determine the impact of the carbon dioxide amount that is emitted into the atmosphere as a greenhouse gas from the soil, as a result of the agricultural practices, i.e. different fertilization types. These findings will be the basis for planning sustainable soil management in the study region, and also in other areas with the same or similar pedological and climatic characteristics. Precisely for this reason, the research conducted in this dissertation is based on the hypothesis that: a) the C-CO₂ emission from agricultural soil will depend on the type of fertilization, b) the C-CO₂ emission from agricultural soil will depend on the type of crop, c) the C-CO₂ emission from agricultural soil will depend on the carbon content of the soil. To prove the established hypotheses, the following objectives were set for this study: a) using field measurements, determine the dependence of soil C-CO₂ emissions on the fertilization type in three years for three different arable crops, b) carry out a balance, i.e. determine the inflows and outflows of carbon from the soil for all treatments studied and determine the dependence on the C-CO₂ emissions from the soil.

The research was conducted on the arable land on the Jelenščak plot, in the village Potok near Popovača, and included 10 different treatments, four of which were selected for the purposes of this dissertation. Four different treatments included: I.- control – no fertilization; II.- N250 + P + K + 40 t/ha organic solid mixed manure; III.- N300 + P + K; IV.- black fallow – cultivation without sowing. The cover crop at the experimental field in the investigated 2016 was winter

wheat (*Triticum aestivum* L.), in 2017 corn (*Zea mays* L.) and in 2018 soybean (*Glycine max* L.). The measurement of the carbon dioxide concentration on the soil surface was carried out based on the static chamber method, and measured with a portable infrared detector of carbon dioxide GasAlerMicro5 IR (2011). Temperature (°C), electrical conductivity (dS/m) and soil moisture content (%) were measured using the IMKO HD2 instrument (Trime – Pico64 probe, 2011) at a depth of 10 cm in the vicinity of each chamber, during each CO₂ concentration measurement. Air temperature (°C), relative humidity (%) and air pressure (hPa) (Testo 610, 2011 and Testo 511, 2011) were measured at each arrival and departure from the experimental field. During the research period, a total of 24 measurements of concentration and calculation of C-CO₂ emissions from the soil and agroecological factors were done.

The results demonstrate a descending pattern in average annual C-CO₂ emissions: winter wheat > soybean > corn. The C-CO₂ emission during corn cultivation was 37,7 % lower than the emission observed during winter wheat growth, while during soybean cultivation, the emissions were 26,7 % lower compared to winter wheat vegetation and 15,0 % lower compared to corn vegetation. These findings suggest variations in carbon dioxide emissions across different crop growth periods, indicating potential differences in soil carbon dynamics influenced by crop characteristics including root structure, residue composition, and overall biomass. Likewise, in all three research years, C-CO₂ emissions from the soil were higher in the period when the vegetation cover was present compared to the period without its presence. The average annual values of C-CO₂ emissions from the soil according to fertilization treatments were the lowest on the treatment with black fallow during all three years, and the highest on the treatments with applied organic (2016) or mineral fertilization (2017 and 2018). These results indicate that the reduction in C-CO₂ emissions in the black fallow treatment can be attributed to a lack of organic matter input due to the absence of fertilization, which implies a reduced availability of organic materials for decomposition, consequently leading to lower CO₂ emissions. During winter wheat vegetation, C-CO₂ emissions varied between 1,91 kg ha⁻¹ day⁻¹ (black fallow) and 54,33 kg ha⁻¹ day⁻¹ (mineral fertilization). For corn, emissions ranged from 0,76 kg ha⁻¹ day⁻¹ (organic fertilization) to 38,21 kg ha⁻¹ day⁻¹ (mineral fertilization). In soybean cultivation, emissions varied between 2,26 kg ha⁻¹ day⁻¹ (black fallow) and 37,89 kg ha⁻¹ day⁻¹ (mineral fertilization). The applied mineral fertilization showed the highest cumulative annual loss by emission to the atmosphere (19,6 t C ha⁻¹), followed by the organic fertilization treatment (18,4 t C ha⁻¹), the control treatment (14,3 t C ha⁻¹) and the black fallow treatment (9,4 t C ha⁻¹). The organic fertilization had the highest mean soil carbon content (64,7 t C ha⁻¹), and the highest percentage reduction in total soil carbon content was recorded in the control treatment (55,6 %). Based on the obtained results, it was determined that the emission of C-CO₂ depends on a various of interdependent factors within the agricultural system. On the studied soil of limited fertility, it was evident that every aspect within the agroecosystem, including agrotechnical practices and crop selection, is important and crucial in mitigating climate change, while simultaneously preserving and achieving good agricultural production.

Key words: C-CO₂ flux, organic fertilization, mineral fertilization, carbon content in soil, carbon balance, soil temperature, soil moisture, yield

SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| 1. UVOD..... | 1 |
| 1.1. Hipoteze i ciljevi istraživanja | 4 |
| 2. PREGLED LITERATURE | 5 |
| 2.1. Emisije stakleničkih plinova kao pokretač klimatskih promjena | 5 |
| 2.2. Staklenički plinovi u Republici Hrvatskoj | 7 |
| 2.3. Klimatske promjene u Republici Hrvatskoj | 11 |
| 2.4. Ugljik i njegovo kruženje u prirodi..... | 13 |
| 2.5. Sekvestracija ugljika | 16 |
| 2.6. Disanje tla..... | 18 |
| 2.6.1. Razgradnja organske tvari tla..... | 20 |
| 2.6.2. Disanje korijena..... | 21 |
| 2.6.3. Disanje rizosfere i pripadajućih mikroorganizama..... | 22 |
| 2.6.4. Disanje faune | 23 |
| 2.7. Čimbenici koji utječu na emisiju CO ₂ iz tla..... | 24 |
| 2.7.1. Temperatura tla..... | 25 |
| 2.7.2. Sadržaj vode u tlu | 26 |
| 2.7.3. Vegetacija | 27 |
| 2.7.4. Mikroorganizmi u tlu | 28 |
| 2.7.5. Gnojidba tla..... | 29 |
| 2.7.5.1. Organska gnojidba..... | 29 |
| 2.7.5.2. Mineralna gnojidba | 30 |
| 3. MATERIJALI I METODE | 32 |
| 3.1. Lokacija istraživanja..... | 32 |
| 3.2. Tretmani pokusa | 33 |
| 3.3. Shema pokusa..... | 34 |
| 3.4. Klima istraživanog područja | 34 |
| 3.4.1. Temperatura zraka..... | 35 |
| 3.4.2. Oborine | 36 |
| 3.4.3. Tlak zraka | 37 |
| 3.4.4. Relativna vlažnost zraka | 38 |
| 3.4.5. Bilanca vode u tlu..... | 38 |
| 3.5. Test kulture u istraživanju | 40 |
| 3.5.1. Pšenica (<i>Triticum aestivum</i> L.) | 40 |

| | | |
|----------|--|----|
| 3.5.2. | Kukuruz (<i>Zea mays L.</i>) | 41 |
| 3.5.3. | Soja (<i>Glycine max L.</i>) | 42 |
| 3.5.4. | Uzorkovanje i analiza biljnog materijala | 43 |
| 3.6. | Svojstva tla | 44 |
| 3.6.1. | Fizikalno-kemijska svojstva pseudogleja na istraživanoj lokaciji | 46 |
| 3.6.2. | Uzorkovanje i analiza tla za potrebe određivanja kemijskih parametara | 48 |
| 3.6.3. | Izračun bilance ugljika | 49 |
| 3.6.4. | Uzorkovanje i analiza tla za potrebe određivanja mikrobioloških parametara | 50 |
| 3.7. | Emisija ugljikovog dioksida iz tla | 51 |
| 3.7.1. | Mjerenje koncentracije ugljikovog dioksida iz tla | 51 |
| 3.7.2. | Proračun emisije ugljikovog dioksida iz tla | 52 |
| 3.8. | Agroekološki čimbenici | 53 |
| 3.8.1. | Mjerenje temperature zraka, tlaka zraka i relativne vlažnosti zraka | 53 |
| 3.8.2. | Mjerenje temperature | 54 |
| 3.9. | Statistička obrada podataka | 55 |
| 4. | REZULTATI | 56 |
| 4.1. | KLIMATSKE PRILIKE ISTRAŽIVANOG RAZDOBLJA | 56 |
| 4.1.1. | Klimatske prilike u 2016. godini | 56 |
| 4.1.2. | Klimatske prilike u 2017. godini | 59 |
| 4.1.3. | Klimatske prilike u 2018. godini | 62 |
| 4.2. | TEST KULTURE U ISTRAŽIVANJU | 65 |
| 4.2.1. | Prinos i njegovi sastavni dijelovi za istraživane kulture | 65 |
| 4.2.2. | Sadržaj ukupnog ugljika (%) i dušika (%), te sadržaj proteina (%) u istraživanim kulturama | 66 |
| 4.3. | SVOJSTVA TLA | 67 |
| 4.3.1. | Kemijska svojstva tla | 67 |
| 4.3.2. | Sadržaj ukupnog ugljika (%) i dušika (%) u tlu | 68 |
| 4.3.3. | Mikrobiološka svojstva tla | 72 |
| 4.4. | EMISIJA UGLJIKOVOG DIOKSIDA IZ TLA | 75 |
| 4.4.1. | Prosječne godišnje vrijednosti emisije ugljikovog dioksida iz tla te agroekoloških čimbenika | 76 |
| 4.4.2. | Prosječne mjesečne vrijednosti emisije ugljikovog dioksida iz tla te agroekoloških čimbenika | 77 |
| 4.4.3. | Emisije ugljikovog dioksida iz tla prema tretmanima gnojidbe | 79 |
| 4.4.3.1. | Ozima pšenica | 80 |
| 4.4.3.2. | Kukuruz | 82 |
| 4.4.3.3. | Soja | 84 |
| 4.4.4. | Utjecaj agroekoloških čimbenika na emisiju C-CO ₂ iz tla | 87 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 4.4.4.1. | Temperatura tla | 88 |
| 4.4.4.2. | Količina vode u tlu..... | 90 |
| 4.4.5. | Bilanca ugljika | 94 |
| 5. | RASPRAVA..... | 98 |
| 5.1. | TLO | 98 |
| 5.1.1. | Sadržaj ukupnog ugljika u tlu..... | 98 |
| 5.1.2. | Sadržaj ugljika u tlu pri različitim gnojidbenim tretmanima | 99 |
| 5.1.3. | Sadržaj ukupnog dušika u tlu | 100 |
| 5.1.4. | CN odnos u tlu | 101 |
| 5.1.5. | Mikrobiološka svojstva tla..... | 102 |
| 5.2. | EMISIJA UGLJIKOVOG DIOKSIDA IZ TLA | 105 |
| 5.2.1. | Prosječne godišnje vrijednosti emisije ugljikovog dioksida iz tla te agroekoloških čimbenika | 105 |
| 5.2.2. | Prosječne mjesečne vrijednosti emisije ugljikovog dioksida iz tla te agroekoloških čimbenika | 106 |
| 5.2.3. | Utjecaj gnojidbe tla na emisiju ugljikovog dioksida iz tla | 109 |
| 5.2.4. | Utjecaj agroekoloških čimbenika na emisiju ugljikovog dioksida iz tla..... | 112 |
| 5.2.4.1. | Temperatura tla | 112 |
| 5.2.4.2. | Količina vode u tlu..... | 114 |
| 5.2.5. | Utjecaj ukupnog ugljika u tlu na emisiju ugljikovog dioksida iz tla | 115 |
| 5.3. | BILANCA UGLJIKA | 116 |
| 6. | ZAKLJUČAK | 118 |
| 7. | LITERATURA..... | 119 |

POPIS TABLICA

| | |
|---|----|
| Tablica 1. Staklenički plinovi i njihov relativni staklenički potencijal..... | 6 |
| Tablica 2. Tretmani pokusa na istraživanom području | 33 |
| Tablica 3. Godišnje vrijednosti srednje temperature zraka (°C), pripadajuće standardne devijacije (sd), apsolutne maksimalne (T_{max}), apsolutne minimalne (T_{min}) temperature zraka za Sisak, 1991.-2020..... | 36 |
| Tablica 4. Godišnji hod količine oborine (R), pripadajuće standardne devijacije (sd), najmanjih (R_{min}) i najvećih (R_{max}) mjesečnih količina za Sisak, 1991.-2020..... | 37 |
| Tablica 5. Godišnji hod srednjeg tlaka zraka (p) i pripadajuće standardne devijacije (sd) za Sisak, 1991.-2020. | 37 |
| Tablica 6. Godišnji hod srednje relativne vlažnosti zraka i pripadajuće standardne devijacije (sd) za Sisak, 1991.-2020..... | 38 |
| Tablica 7. Bilanca vode u tlu prema metodi Thornthwaitea, Sisak, 1991.-2020..... | 38 |
| Tablica 8. Stabilnost mikroagregata..... | 46 |
| Tablica 9. Mehanički sastav tla | 46 |
| Tablica 10. Specifične težine tla, porozitet, kapacitet za vodu i kapacitet za zrak | 47 |
| Tablica 11. Kemijska svojstva tla | 47 |
| Tablica 12. Roemer-Orphal-ova skala | 55 |
| Tablica 13. Kretanje temeljnih klimatskih pokazatelja u 2016. godini | 56 |
| Tablica 14. Godišnji hod srednjeg tlaka zraka (p) za Sisak, 2016. | 57 |
| Tablica 15. Godišnji hod srednje relativne vlažnosti zraka (U %) za Sisak, 2016. | 57 |
| Tablica 16. Bilanca vode u tlu prema metodi Thornthwaitea, Sisak, 2016. godina | 57 |
| Tablica 17. Kretanje temeljnih klimatskih pokazatelja u 2017. godini | 59 |
| Tablica 18. Godišnji hod srednjeg tlaka zraka (p) za Sisak, 2017. | 60 |
| Tablica 19. Godišnji hod srednje relativne vlažnosti zraka (U %) za Sisak, 2017. | 60 |
| Tablica 20. Bilanca vode u tlu prema metodi Thornthwaitea, Sisak, 2017. godina | 60 |
| Tablica 21. Kretanje temeljnih klimatskih pokazatelja u 2018. godini | 62 |
| Tablica 22. Godišnji hod srednjeg tlaka zraka (p) za Sisak, 2018. | 63 |
| Tablica 23. Godišnji hod srednje relativne vlažnosti zraka (U %) za Sisak, 2018. | 63 |
| Tablica 24. Bilanca vode u tlu prema metodi Thornthwaitea, Sisak, 2018. godina | 63 |
| Tablica 25. Prinos zrna ($t\ ha^{-1}$), sadržaj vlage (%), apsolutna masa (g) i hektolitarska masa (g)..... | 66 |
| Tablica 26. Sadržaj ukupnog ugljika i dušika (%) u biljnom materijalu (zrnu) ozime pšenice, kukuruza i soje te sadržaj proteina (%)..... | 67 |
| Tablica 27. Reakcija tla, elektrovodljivost ($\mu S\ cm^{-1}$), sadržaj humusa (%) te sadržaj biljci pristupačnog fosfora i kalija u tlu ($mg\ 100\ g^{-1}$) uz pripadajuće standardne devijacije | 68 |
| Tablica 28. Sadržaj ukupnog ugljika (%) i dušika (%) u tlu za referentno razdoblje 2011.-2014. te istraživanu 2016. i 2018. godinu | 70 |
| Tablica 29. Rezultati analize varijance srednjih vrijednosti sadržaja ukupnog ugljika (%) u tlu s obzirom na tretmane za referentno razdoblje 2011.-2014. te istraživanu 2016. i 2018. godinu (Fisher, LSD) | 70 |
| Tablica 30. Rezultati analize varijance srednjih vrijednosti sadržaja ukupnog dušika (%) u tlu s obzirom na tretmane za referentno razdoblje 2011.-2014. te istraživanu 2016. i 2018. godinu (Fisher, LSD) | 71 |
| Tablica 31. Mikrobiološka analiza tla - ukupan broj mikroorganizama ($\times 10^6\ CFU/g$), ukupan broj gljiva ($\times 10^4\ CFU/g$), amonifikatori ($\times 10^5\ CFU/g$), celulolitičke bakterije (%), celulolitičke gljive (%), dehidrogenazna aktivnost ($\mu g\ TPF\ g^{-1}\ ST\ 16h^{-1}$)..... | 73 |

| | |
|---|----|
| Tablica 32. Rezultati analize varijance mikrobioloških svojstava tla između dva datuma uzorkovanja po tretmanima (Fisher, LSD) | 74 |
| Tablica 33. Osnovna statistička analiza za varijabilnost emisija C-CO ₂ u vegetaciji ozime pšenice prema gnojidbenim tretmanima za ispitivane mjesece u istraživanom razdoblju..... | 81 |
| Tablica 34. Rezultati analize varijance za vrijednosti emisije C-CO ₂ iz tla u vegetaciji ozime pšenice prema gnojidbenim tretmanima za pojedine mjesece u istraživanom razdoblju | 81 |
| Tablica 35. Osnovna statistika za varijabilnost emisija C-CO ₂ u vegetaciji kukuruza prema gnojidbenim tretmanima za ispitivane mjesece u istraživanom razdoblju..... | 83 |
| Tablica 36. Rezultati analize varijance za vrijednosti emisije C-CO ₂ iz tla u vegetaciji kukuruza prema gnojidbenim tretmanima za pojedine mjesece u istraživanom razdoblju | 83 |
| Tablica 37. Osnovna statistika za varijabilnost emisija C-CO ₂ u vegetaciji soje prema gnojidbenim tretmanima za pojedine mjesece u istraživanom razdoblju | 85 |
| Tablica 38. Rezultati analize varijance za vrijednosti emisije C-CO ₂ iz tla u vegetaciji soje prema gnojidbenim tretmanima za pojedine mjesece u istraživanom razdoblju | 86 |
| Tablica 39. Rezultati statističke analize za sadržaj fluksa (kg ha ⁻¹ dan ⁻¹), vrijednosti temperature tla na 10 cm dubine (°C), te količinu vode u tlu na 10 cm dubine (%); n=96 | 87 |
| Tablica 40. Ovisnost emisije C-CO ₂ i temperature tla na 10 cm dubine za istraživanu 2016. godinu | 88 |
| Tablica 41. Ovisnost emisije C-CO ₂ i temperature tla na 10 cm dubine za istraživanu 2017. godinu | 89 |
| Tablica 42. Ovisnost emisije C-CO ₂ i temperature tla na 10 cm dubine za istraživanu 2018. godinu | 90 |
| Tablica 43. Ovisnost emisije C-CO ₂ o količini vode u tlu na 10 cm dubine za istraživanu 2016. godinu | 91 |
| Tablica 44. Ovisnost emisije C-CO ₂ o količini vode u tlu na 10 cm dubine za istraživanu 2017. godinu | 91 |
| Tablica 45. Ovisnost emisije C-CO ₂ o količini vode u tlu na 10 cm dubine za istraživanu 2018. godinu | 92 |
| Tablica 46. Sumarni prikaz ovisnosti emisije C-CO ₂ iz tla o temperaturi tla (°C) i količini vode u tlu (%) za 2016., 2017. i 2018. godinu istraživanja..... | 93 |
| Tablica 47. Ovisnost emisije C-CO ₂ o sadržaju ukupnog ugljika u tlu u vegetaciji ozime pšenice..... | 94 |
| Tablica 48. Ovisnost emisije C-CO ₂ o sadržaju ukupnog ugljika u tlu u vegetaciji soje | 95 |

POPIS SLIKA

| | |
|---|----|
| Slika 1. Procjena Zemljine godišnje i globalne srednje energetske bilance (izvor: IPCC, 2023.; preuredila: Marija Galić) | 5 |
| Slika 2. Usporedba prirodnog efekta staklenika s efektom staklenika pojačanog ljudskom aktivnošću (izvor: http://www.environnet.in.th/en/archives/1241 ; preuredila: Marija Galić).... | 7 |
| Slika 3. Godišnje emisije CO ₂ po glavi stanovnika u Hrvatskoj za razdoblje 1885.- 2022. (izvor: https://ourworldindata.org/co2/country/croatia) | 8 |
| Slika 4. Doprinosi pojedinih sektora emisijama stakleničkih plinova u Republici Hrvatskoj u 2019. godini (izvor: NIR, 2021) | 8 |
| Slika 5. Doprinos pojedinih plinova ukupnoj emisiji u Republici Hrvatskoj u 2019. godini (izvor: NIR, 2021)..... | 9 |
| Slika 6. Predviđena prosječna temperatura za Hrvatsku (referentno razdoblje 1986.–2005.) (lijevo) i Predviđena promjena temperature u ljetnim danima (T _{max} >25°C) (desno) (izvor: https://climateknowledgeportal.worldbank.org/sites/default/files/2021-06/15847-WB_Croatia%20Country%20Profile-WEB_0.pdf ; preuredila: Marija Galić) (*RCP – eng. Representative Concentration Pathways, hrv. Reprezentativni putevi koncentracije) | 12 |
| Slika 7. Predviđena godišnja prosječna količina oborine u Hrvatskoj (izvor: https://climateknowledgeportal.worldbank.org/sites/default/files/2021-06/15847-WB_Croatia%20Country%20Profile-WEB_0.pdf ; preuredila: Marija Galić) (*RCP – eng. Representative Concentration Pathways, hrv. Reprezentativni putevi koncentracije) | 13 |
| Slika 8. Spremišta ugljika (Gt C) na Zemlji (izvor: https://www.futurelearn.com/info/courses/the-biology-of-bugs-brains-and-beasts/0/steps/68848 ; preuredila: Marija Galić)..... | 14 |
| Slika 9. Kruženje ugljika u prirodi (izvor: https://ugc.berkeley.edu/background-content/carbon-cycle/ ; preuredila: Marija Galić) | 15 |
| Slika 10. Čimbenici koji kontroliraju sekvestraciju C u tlu (izvor: https://www.iasparliament.com/blogs/pdf/soils-to-sequester-carbon ; preuredila: Marija Galić) | 17 |
| Slika 11. Shematski prikaz procesa proizvodnje CO ₂ u tlu (izvor: Luo i Zhou, 2004; preuredila: Marija Galić)..... | 18 |
| Slika 12. Disanje tla (izvor: M. Galić)..... | 19 |
| Slika 13. Komponente organske tvari tla (izvor: Nivethadevi i sur., 2021; preuredila: Marija Galić)..... | 20 |
| Slika 14. Izvori ugljika disanjem korijena (izvor: Moyano i sur., 2009; preuredila: Marija Galić) | 21 |
| Slika 15. Mikrobna zajednica rizosfere (izvor: Chamkhi i sur., 2022; preuredila: Marija Galić) | 23 |
| Slika 16. Lokacija i isječak topografske karte s prikazom pokusnog polja (izvor: L. J. Telak, 2018; Google Earth, 2022; I. Dugan, 2023) | 32 |
| Slika 17. Shema pokusa (izvor: Marija Galić, 2023.) | 34 |
| Slika 18. Geografska raspodjela klimatskih tipova po W. Köppenu u Hrvatskoj u razdoblju 1961.-1990.: Cfa , umjereno topla vlažna klima s vrućim ljetom; Cfb , umjerena topla vlažna klima s toplim ljetom; Csa , sredozemna klima s vrućim ljetom; Csb , sredozemna klima s toplim ljetom; Df , vlažna borealna klima (izvor: Filipčić, 1998) | 35 |
| Slika 19. Bilanca vode u tlu prema metodi Thornthwaitea za Sisak, 1991.-2020. | 39 |
| Slika 20. Prikaz godišnjeg hoda temperature zraka i količine oborine pomoću Walterovog klimatskog dijagrama, Sisak, 1961.-1990. | 39 |

| | |
|--|----|
| Slika 21. Ozima pšenica u različitim stadijima rasta, 2016. godina (foto: M. Galić; D. Bilandžija) | 40 |
| | 40 |
| Slika 22. Kukuruz u različitim stadijima rasta, 2017. godina (foto: M. Galić) | 41 |
| Slika 23. Soja u različitim stadijima rasta, 2018. godina (foto: M. Galić) | 42 |
| Slika 24. Proces pripreme biljnog materijala za određivanje ukupnog ugljika i dušika (s lijeva na desno: sušenje; mljevenje; prosijavanje i homogeniziranje; vaganje i oblikovanje; tijek analize u Vario, Macro CHNS analizatoru) (foto: M. Galić; I. Hrelja) | 44 |
| Slika 25. Pseudoglej, ravničarski, distrični (foto: M. Mesić); Pokusna površina u siječnju 2018. godine (foto: M. Galić) | 45 |
| Slika 26. Rasprostranjenost pseudogleja u Hrvatskoj (izvor: Husnjak, 2014.) | 45 |
| Slika 27. Uzorkovanje tla pedološkom sondom (foto: M. Galić) | 48 |
| Slika 28. Sušenje, mljevenje, prosijavanje i arhiviranje uzoraka tla (foto: Ž. Zgorelec; M. Galić) | 48 |
| | 48 |
| Slika 29. pH metar, spektrofotometar, plamenfotometar i određivanje sadržaja humusa (foto: M. Galić) | 49 |
| Slika 30. Mjerenja emisija ugljikovog dioksida iz tla kroz sva 4 godišnja doba (foto: M. Galić; I. Hrelja) | 51 |
| Slika 31. GasAlerMicro5 IR detektor i komore (foto: M. Galić) | 51 |
| Slika 32. Postupak mjerenja koncentracije ugljikovog dioksida iz tla (foto: M. Galić, I. Hrelja) | 52 |
| | 52 |
| Slika 33. Uređaj Testo 610 (relativna vlažnost zraka (%) + temperatura (°C) i uređaj Testo 511 (p/hPa) (foto: M. Galić) | 54 |
| Slika 34. IMKO HD2 i sonda Trime – Pico64 (foto: M. Galić) | 54 |
| Slika 35. Bilanca vode u tlu prema metodi Thornthwaitea za Sisak, 2016. | 58 |
| Slika 36. Prikaz godišnjeg hoda temperature zraka i količine oborine pomoću Walterovog klimatskog dijagrama, Sisak, 2016. | 58 |
| Slika 37. Bilanca vode u tlu prema metodi Thornthwaitea za Sisak, 2017. | 61 |
| Slika 38. Prikaz godišnjeg hoda temperature zraka i količine oborine pomoću Walterovog klimatskog dijagrama, Sisak, 2017. | 61 |
| Slika 39. Bilanca vode u tlu prema metodi Thornthwaitea za Sisak, 2018. | 64 |
| Slika 40. Prikaz godišnjeg hoda temperature zraka i količine oborine pomoću Walterovog klimatskog dijagrama, Sisak, 2018. | 64 |
| Slika 41. CN odnos u tlu za referentno razdoblje 2011.-2014. te istraživanju 2016. i 2018. godinu (Tretmani: I. - kontrola, negnojeno; II. - N250 + P + K + 40 t ha ⁻¹ organskog krutog stajskog miješanog gnoja; III. - N300 + P + K; IV. – crni ugar, obrada bez sjetve) | 71 |
| Slika 42. Ukupan broj mikroorganizama (x10 ⁶), Ukupan broj gljiva (x10 ⁴), Amonifikatori (x10 ⁵), Celulolitičke bakterije (%), Celulolitičke gljive (%), Dehidrogenazna aktivnost (µg TPF g ⁻¹ dm 16h ⁻¹). (Srednje vrijednosti mikrobioloških svojstva tla označene istim slovima između dva datuma uzorkovanja po tretmanima statistički se značajno ne razlikuju (SAS 9.1, p < 0,05). | 75 |
| Slika 43. Prosječne godišnje vrijednosti emisije C-CO ₂ iz tla i agroekoloških čimbenika u vegetaciji ozime pšenice, kukuruza i soje (n=32) (Srednje vrijednosti emisije C-CO ₂ iz tla između istraživanih godina označene istim slovima statistički se značajno ne razlikuju (SAS 9.1, p < 0,05). | 76 |
| Slika 44. Prosječne mjesečne emisije C-CO ₂ iz tla i agroekoloških čimbenika tijekom vegetacije ozime pšenice (2016. godina) (Srednje vrijednosti emisije C-CO ₂ iz tla između istraživanih mjeseci označene istim slovima statistički se značajno ne razlikuju (Pr>F=0,0046; LSD=17,21) | 77 |
| Slika 45. Prosječne mjesečne emisije C-CO ₂ iz tla i agroekoloških čimbenika tijekom vegetacije kukuruza (2017. godina) (Srednje vrijednosti emisije C-CO ₂ iz tla između istraživanih mjeseci označene istim slovima statistički se značajno ne razlikuju (Pr>F=<0,001; LSD=4,32) | 78 |

| | |
|--|----|
| Slika 46. Prosječne mjesečne emisije C-CO ₂ iz tla i agroekoloških čimbenika tijekom vegetacije soje (2018. godina) (Srednje vrijednosti emisije C-CO ₂ iz tla između istraživanih mjeseci označene istim slovima statistički se značajno ne razlikuju (Pr>F=0,0002; LSD=10,26) | 79 |
| Slika 47. Prosječne godišnje vrijednosti emisije C-CO ₂ iz tla po tretmanima u vegetaciji ozime pšenice, kukuruza i soje (Tretmani: I. - kontrola, negnojeno; II. - N250 + P + K + 40 t ha ⁻¹ organskog krutog stajskog miješanog gnoja; III. - N300 + P + K; IV. – crni ugar, obrada bez sjetve) (Srednje vrijednosti emisije C-CO ₂ iz tla između istraživanih tretmana za svaku godinu istraživanja označene istim slovima statistički se značajno ne razlikuju (SAS 9.1, p < 0,05).80 | 80 |
| Slika 48. Prosječne vrijednosti emisije C-CO ₂ iz tla prema tretmanima gnojidbe tijekom vegetacije ozime pšenice u 2016. godini. (Tretmani: I. - kontrola, negnojeno; II. - N250 + P + K + 40 t ha ⁻¹ organskog krutog stajskog miješanog gnoja; III. - N300 + P + K; IV – crni ugar, obrada bez sjetve) (Srednje vrijednosti emisije C-CO ₂ iz tla između pojedinih tretmana za svaki pojedini mjesec istraživanja označene istim slovima statistički se značajno ne razlikuju (SAS 9.1, p < 0,05)..... | 82 |
| Slika 49. Prosječne vrijednosti emisije C-CO ₂ iz tla prema tretmanima gnojidbe tijekom vegetacije kukuruza u 2017. godini. (Tretmani: I. - kontrola, negnojeno; II. - N250 + P + K + 40 t ha ⁻¹ organskog krutog stajskog miješanog gnoja; III. - N300 + P + K; IV. – crni ugar, obrada bez sjetve) (Srednje vrijednosti emisije C-CO ₂ iz tla između pojedinih tretmana za svaki pojedini mjesec istraživanja označene istim slovima statistički se značajno ne razlikuju (SAS 9.1, p < 0,05)..... | 84 |
| Slika 50. Prosječne vrijednosti emisije C-CO ₂ iz tla prema tretmanima gnojidbe tijekom vegetacije soje u 2018. godini. (Tretmani: I. - kontrola, negnojeno; II. - N250 + P + K + 40 t ha ⁻¹ organskog krutog stajskog miješanog gnoja; III. - N300 + P + K; IV. – crni ugar, obrada bez sjetve) (Srednje vrijednosti emisije C-CO ₂ iz tla između pojedinih tretmana za svaki pojedini mjesec istraživanja označene istim slovima statistički se značajno ne razlikuju (SAS 9.1, p < 0,05)..... | 86 |
| Slika 51. Ovisnost emisije C-CO ₂ i temperature tla na 10 cm dubine za istraživanu 2016. godinu | 88 |
| Slika 52. Ovisnost emisije C-CO ₂ i temperature tla na 10 cm dubine za istraživanu 2017. godinu | 89 |
| Slika 53. Ovisnost emisije C-CO ₂ i temperature tla na 10 cm dubine za istraživanu 2018. godinu | 90 |
| Slika 54. Ovisnost emisije C-CO ₂ o količini vode u tlu na 10 cm dubine za istraživanu 2016. godinu | 91 |
| Slika 55. Ovisnost emisije C-CO ₂ o količini vode u tlu na 10 cm dubine za istraživanu 2017. godinu | 92 |
| Slika 56. Ovisnost emisije C-CO ₂ o količini vode u tlu na 10 cm dubine za istraživanu 2018. godinu | 93 |
| Slika 57. Regresijski model ovisnosti emisije C-CO ₂ i sadržaja ugljika u tlu za istraživanu 2016. godinu | 94 |
| Slika 58. Regresijski model ovisnosti emisije C-CO ₂ i sadržaja ugljika u tlu za istraživanu 2018. godinu | 95 |
| Slika 59. Srednje vrijednosti sadržaja ugljika u t C ha ⁻¹ u tlu (spremnik) i odliva ugljika prinosom i emisijom u atmosferu u t C t ha ⁻¹ god. prema tretmanima pokusa za tri istraživane vegetacijske godine | 97 |

1. UVOD

Povećanje prosječne temperature zraka na Zemljinoj površini od oko 1,0 °C od preindustrijskog doba pa sve do danas, posljedica je ljudske aktivnosti koja rezultira povećanjem emisija stakleničkih plinova, što u konačnici dovodi do glavnog problema današnjice, klimatskih promjena. Zagrijavanje je zahvatilo sve dijelove klimatskog sustava, uključujući atmosferu, ocean, kopno, kriosferu i biosferu (Sun i sur., 2021). Kako se zagrijavanje nastavlja i dalje, njegov utjecaj na ljudske i prirodne sustave se povećava, a globalno zatopljenje postaje najveći izazov za svijet a samim time i za Hrvatsku. Klimatske promjene uzrokovane povišenim razinama stakleničkih plinova u atmosferi, kao posljedica njihovog ispuštanja iz sektora energetike, industrije i poljoprivrede mogu dovesti do niza problema. Prema procjeni hrvatskih stručnjaka sektor poljoprivrede u 2019. godini doprinio je ukupnoj emisiji stakleničkih plinova u Republici Hrvatskoj s 11,4 % (Izvešće o inventaru stakleničkih plinova na području Republike Hrvatske za razdoblje 1990.-2019., 2021) čime zauzima treće mjesto prema doprinosima ukupnoj emisiji. Ukoliko im se ne preda dovoljno pozornosti, klimatske se promjene u Hrvatskoj mogu negativno odraziti na pozitivne aspekte razvoja te imati negativan utjecaj na razvoj društva općenito (Branković i sur., 2009).

Jedan od najvažnijih stakleničkih plinova, uz sve ostale (didušikov oksid (N_2O), metan (CH_4), ozon (O_3), vodena para, freon) (Pehnc i sur., 2013) predstavlja ugljični dioksid (CO_2) koji zaslužuje posebnu pozornost kao staklenički plin jer njegova koncentracija neosporno raste, te je odgovoran za oko $\frac{3}{4}$ emisija (NG, 2019). Ugljični dioksid ulazi u atmosferu izgaranjem fosilnih goriva, krutog otpada, drveća i drugih bioloških materijala te kao rezultat određenih kemijskih reakcija, poput proizvodnje cementa (EPA, 2022). Međutim, on nije prisutan samo u atmosferi - velike količine ugljika pohranjene su u oceanima, u tlu, u vegetaciji i neprestano se izmjenjuju s atmosferom u obliku CO_2 .

Kruženje ugljika u prirodi nezamislivo je bez tla kao bitne sastavnice okoliša, što potvrđuje da su tlo i klima oduvijek bili usko povezani. Stoga je bitno naglasiti kako je jedan od glavnih čimbenika u borbi protiv klimatskih promjena upravo tlo koje sadrži dva puta više ugljika u odnosu na atmosferu te samim time predstavlja važnu komponentu globalnog proračuna za ugljik (Mielnick i Dugas, 1999; Maier i Kress, 2000). Oko 75 % ugljika kopnenog ekosustava nalazi se ispod površine (Schlesinger, 1997), a poznavanje procesa ugljika ispod površine ključno je za razumijevanje terestričnog ciklusa ugljika. Ovisno o tome kako se njime gospodari (gnojidba), tlo može imati ulogu izvora ili skladišta C i N (Zgorelec i sur., 2015; Bilandžija i sur., 2017).

Sekvestracijom C u tlima, biljnom materijalu i stablima, ugljik iz atmosfere može biti uklonjen a shodno tome i brzina klimatskih promjena se usporava (Lal i sur. 1999). Skladištenje ugljika u poljoprivrednim tlima može se povećati pravilnim gospodarenjem kao što su smanjenje ili izostavljanje obrade, korištenje organske gnojidbe, bolje rotacije usjeva te optimalne gnojdbene prakse (Paustian i sur., 1998; Ogle i sur., 2005).

Stoga, u terestričkim ekosustavima, ključni proces koji povezuje podzemni i nadzemni ugljikov ciklus predstavlja upravo disanje tla. Kao druga najveća globalna komponenta protoka ugljika u kopnenim ekosustavima (u rasponu od 68 do 98 Pg C god.⁻¹), disanje tla značajno doprinosi učinku staklenika (Raich i Schlesinger 1992; Raich i sur., 2002; Bond-Lamberty i Thomson, 2010). Primarno, CO₂ u tlu nastaje putem dvije glavne komponente toka: putem autotrofnog disanja što podrazumijeva disanje korijenja biljaka i s njima povezanih mikoriznih gljiva, te putem heterotrofnog disanja što podrazumijeva disanje mikroorganizama (Metcalf i sur., 2007; Moyano i sur., 2007). Također, CO₂ u tlu nastaje i mikrobiološkom razgradnjom organske tvari i mineralizacijom, disanjem faune tla te rizosfere (Nannipieri i sur., 2003; Kuzyakov, 2006; Zgorelec i sur., 2017). Mnoge dosadašnje studije pokazale su da čimbenici poput agrotehničkih zahvata (npr. gnojdba tla) uključujući različite agroekološke faktore poput temperature i relativne vlage tla, te prisutnost i vrsta usjeva utječu na emisiju CO₂ iz tla (Lal, 2003; Jarecki i Lal, 2006). Također, važno je naglasiti da je proces stvaranja CO₂ u tlu neposredno vezan i uz klimatske elemente poput temperature zraka i relativne vlage zraka koji utječu na temperaturu tla i relativnu vlagu tla te time na emisiju i sekvestraciju ugljika (Zgorelec i sur., 2017). Tako su autori Ussiri i Lal (2009) zabilježili veće emisije CO₂ iz tla u toplom dijelu godine nego u hladnom dijelu. Također, pregledom literature utvrđena je pozitivna linearna korelacija između emisije CO₂ iz tla i temperature tla (Sainju i sur., 2008; Schwendenmann i Macinnis, 2016) te između emisije CO₂ iz tla i vlage tla (Hernandez-Ramirez i sur., 2009).

Jednom od najvažnijih agrotehničkih mjera koja povećava produktivnost i prinos smatra se upravo gnojdba tla. Ona može biti organska (podrazumijeva primjenu stajskog gnoja koji može biti kruti ili tekući, gnojnice, komposta, fekalija, otpadnih voda) te mineralna (makro i mikro hraniva). Primjena gnojiva od velikog je značaja za emisije CO₂ iz tla koje se mogu razlikovati promjenom količine i kemijskog sastava gnojiva (Rahman i sur., 2016). Štoviše, emisije stakleničkih plinova izazvane primjenom gnojiva predstavljaju najveći izvor ukupnih poljoprivrednih emisija (Wang i sur., 2017). Pregledom literature utvrđeni su oprečni rezultati istraživanja o utjecaju mineralne i organske gnojdbne na emisiju CO₂ iz tla. Povećanje emisija CO₂ iz tla nakon odlaganja organskog otpada zabilježeno je od strane mnogih autora (Scott i sur., 2000; Cayuela i sur., 2010; Cai i sur., 2012; Ryals i Silver, 2013). S druge strane, istraživanje Ren i sur. (2017) pokazalo je značajno smanjenje emisija CO₂ pri zamjeni mineralnog gnojiva s organskim.

Uz spomenute agrotehničke mjere, s naglaskom na gnojidbu, na emisije CO₂ iz tla također utječe i prisustvo vegetacije. Sve veća globalna zabrinutost zbog utjecaja klimatskih promjena zahtijeva intenzivna istraživanja o kruženju ugljika, s posebnim naglaskom na njegovu transformaciju pod različitim usjevima (Rahman, 2010). Razvijena biljka posjeduje snažan korijenski sustav okružen brojnim mikroorganizmima, a upravo oni su odgovorni za visoke emisije C-CO₂ (Galić i sur., 2019). Schlesinger i Andrews (2000) također su utvrdili da je protok CO₂ iz tla usko povezan s rastom biljaka. Smatra se da čak i mala promjena u trajanju ili opsegu sezone uzgoja usjeva može rezultirati velikim promjenama u godišnjem protoku CO₂ (Noormets, 2009).

1.1. Hipoteze i ciljevi istraživanja

Hipoteze postavljene u sklopu ove disertacije bile su sljedeće:

- I. Emisija C-CO₂ iz poljoprivrednog tla ovisiti će o tipu gnojidbe,
- II. Emisija C-CO₂ iz poljoprivrednog tla ovisiti će o vrsti usjeva,
- III. Emisija C-CO₂ iz poljoprivrednog tla ovisiti će o sadržaju ugljika u tlu.

Temeljem hipoteza postavljeni su sljedeći ciljevi istraživanja:

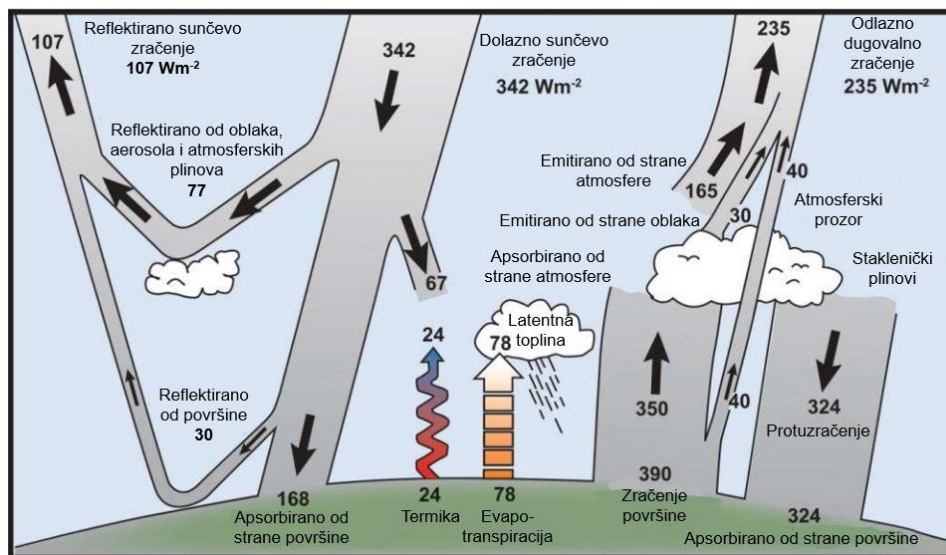
- I. Terenskim mjerenjima utvrditi ovisnost emisije tla C-CO₂ o tipu gnojidbe u tri vegetacijske godine za tri vrste usjeva,
- II. Provesti bilanciranje odnosno utvrditi prilive i odlive ugljika iz tla na svim istraživanim tretmanima i utvrditi ovisnost o emisiji C-CO₂ iz tla.

2. PREGLED LITERATURE

2.1. Emisije stakleničkih plinova kao pokretač klimatskih promjena

Klimatski sustav predstavlja složen i interaktivan sustav koji se sastoji od atmosfere, kopnene površine, snijega i leda, oceana i drugih vodenih tijela te živih bića. Zbog utjecaja vlastite interne dinamike te promjena vanjskih čimbenika koji utječu na klimu, klimatski sustav se mijenja s vremenom. Ti vanjski utjecaji uključuju prirodne fenomene kao što su vulkanske erupcije i solarne varijacije, kao i promjene u atmosferskom sastavu koje uzrokuje čovjek (IPCC, 2007).

Klimatski sustav je kontroliran sunčevim zračenjem. Postoje tri primarna načina za modifikaciju ravnoteže zračenja Zemlje: 1) promjenom dolaznog sunčevog zračenja (npr. promjenama u orbiti Zemlje ili na samom Suncu); 2) promjenom udjela sunčevog zračenja koje se reflektira (albedo: npr. promjene u naoblaci, atmosferskim česticama ili vegetaciji); i 3) mijenjanjem dugovalnog zračenja emitiranog s površine Zemlje natrag u svemir (npr. promjenom koncentracije stakleničkih plinova) (IPCC, 2007) (Slika 1).



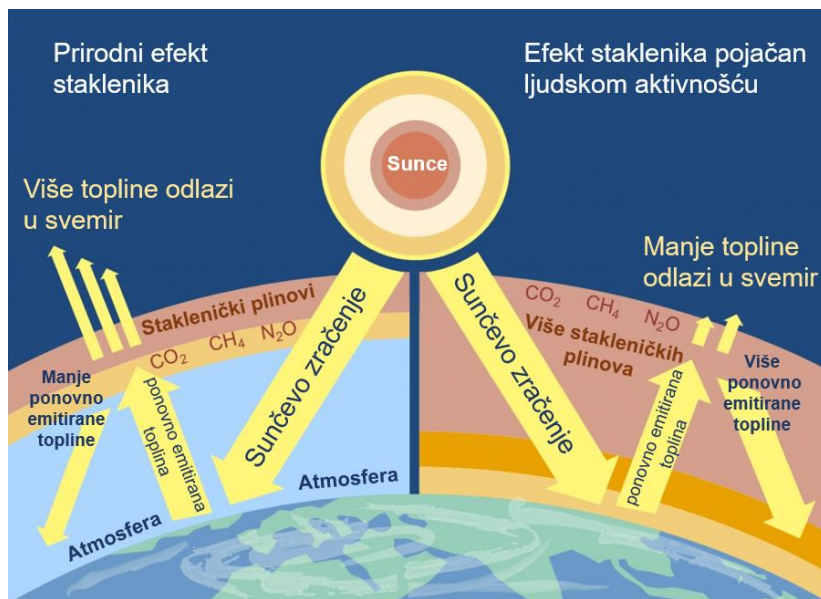
Slika 1. Procjena Zemljine godišnje i globalne srednje energetske bilance (izvor: IPCC, 2023.; preuredila: Marija Galić)

Staklenički plinovi uzrokovani ljudskim aktivnostima najznačajniji su pokretač klimatskih promjena od sredine 20. stoljeća (IPCC, 2021). Oni nastaju prirodno i ključni su za opstanak

Ljudi i milijun drugih živih bića, jer sprječavaju da se dio sunčeve topline reflektira natrag u svemir te čine Zemlju pogodnom za život (Slika 2). Međutim, nakon više od stoljeća i pol industrijalizacije, krčenja šuma i intenzivne poljoprivrede, količine stakleničkih plinova u atmosferi dosegnule su rekordne razine koje nisu viđene u tri milijuna godina. Kako stanovništvo iz dana u dan sve više raste, paralelno raste i životni standard, a s time i kumulativna razina emisije stakleničkih plinova. Povećanjem emisija stakleničkih plinova uzrokovanih ljudskim aktivnostima dolazi do njihovog nakupljanja u atmosferi i zagrijavanja klime, što dovodi do mnogih drugih promjena diljem svijeta - u atmosferi, na kopnu i u oceanima. Uzimajući u obzir da mnogi od glavnih stakleničkih plinova ostaju u atmosferi desecima do stotinama godina nakon što su ispušteni, njihov učinak zagrijavanja traje dugo vremena i stoga može utjecati na sadašnje ali i buduće generacije (EPA, 2022). Tijekom perioda prije industrijske ere, oko 1750.-e godine, koncentracija CO₂ u našoj atmosferi bila je 280 ppm nekoliko tisuća godina (IPCC, 2018). Međutim, u prošlom stoljeću ta je koncentracija u atmosferi nedvojbeno počela rasti kao posljedica ljudskih aktivnosti, dosegnuvši godišnji prosjek za 2019. godinu od 410 ppm za CO₂, 1866 ppb za CH₄ i 332 ppb za N₂O (IPCC, 2021). Kako bi se usporedili učinci zagrijavanja stakleničkih plinova u određenom vremenskom periodu, mjeri se relativni staklenički potencijal plinova. Emisija stakleničkih plinova izražava se kao ekvivalentna emisija ugljikovog dioksida (eng. CO₂ equivalents: CO₂-eq). Iako je ugljični dioksid najzastupljeniji staklenički plin, drugi plinovi iako prisutni u nižim koncentracijama, posjeduju znatno veći relativni staklenički potencijal, pojačavajući njihov utjecaj na klimatske promjene. U tablici 1 prikazani su staklenički plinovi i njihov relativni staklenički potencijal.

Tablica 1. Staklenički plinovi i njihov relativni staklenički potencijal

| Staklenički plin | Koncentracija prije industrijske revolucije (ppm) | Koncentracija danas (ppm) | Godine života u atmosferi | Glavni izvori | Relativni staklenički potencijal |
|-------------------------------------|---|---------------------------|---------------------------|---|----------------------------------|
| ugljikov dioksid (CO ₂) | 280 | 418 | 50-200 | spaljivanje fosilnih goriva | 1 |
| metan (CH ₄) | 700 | 1770 | 12-17 | spaljivanje fosilnih goriva, poljoprivreda, otpad | 21 |
| didušikov oksid (N ₂ O) | 275 | 312 | 120-150 | poljoprivreda, industrijski procesi | 310 |
| CFC (CFC ₁₂) | 0 | 503 | 102 | tekuća rashladna sredstva | 125-152 |
| HCFC (HCFC ₂₂) | 0 | 105 | 13 | tekuća rashladna sredstva | 125 |
| perfluorouglik | 0 | 110 | 50000 | proizvodnja aluminija | 6500 |
| sumporheksafluorid | 0 | 72 | 1000 | proizvodnja magnezija | 23900 |



Slika 2. Usporedba prirodnog efekta staklenika s efektom staklenika pojačanog ljudskom aktivnošću (izvor: <http://www.environnet.in.th/en/archives/1241> ; preuredila: Marija Galić)

2.2. Staklenički plinovi u Republici Hrvatskoj

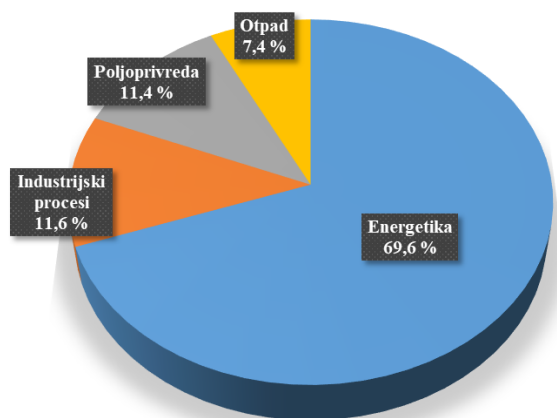
Opći pad ekonomskih aktivnosti i potrošnje energije u razdoblju od 1991.-1994. godine, direktno je uzrokovalo pad ukupnih emisija stakleničkih plinova u navedenom razdoblju u Republici Hrvatskoj. Emisije su zatim 1995. godine počele rasti, te su bilježile porast sve do 2008. godine, što se pripisuje sektoru energetike (proizvodnja električne energije i topline, promet), industrijskim procesima (proizvodnja cementa, vapna, amonijaka, dušične kiseline, potrošnja halogeniranih ugljikovodika) te otpadu. Zbog smanjenja gospodarske aktivnosti odnosno ekonomske krize koja je uslijedila u razdoblju od 2008.-2016. godine, emisije su se konstantno smanjivale do 2014. godine kada su ponovno počele sporo rasti (NIR, 2021) (Slika 3). U 2019. godini, ukupna emisija stakleničkih plinova, iznosila je 23,60 mil. t CO₂-eq što predstavlja smanjenje emisija za 24,8 % u odnosu na emisiju stakleničkih plinova u 1990. godini. Podaci za 2020. godinu prikazuju da je Hrvatska emitirala ukupno 16,98 mil. t CO₂-eq, što je iznosilo oko 0,05 % ukupnih svjetskih emisija, dok po emisijama po glavi stanovnika Hrvatska stoji uz bok zajedno sa zemljama EU, sa emisijama značajno nižim od europskog prosjeka (Vitali Čepo, 2021).



Slika 3. Godišnje emisije CO₂ po glavi stanovnika u Hrvatskoj za razdoblje 1885.- 2022.

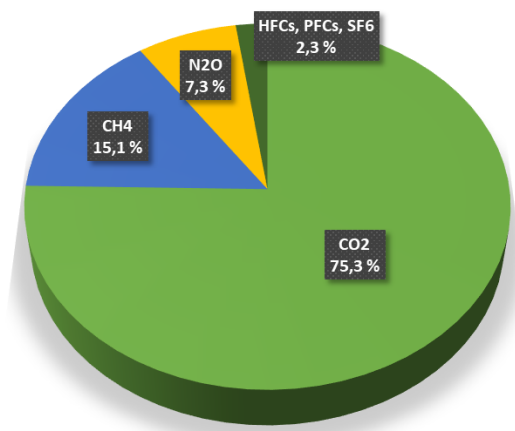
(izvor: <https://ourworldindata.org/co2/country/croatia>)

U službenim dokumentima Republike Hrvatske, sektori emisija podijeljeni su na nekoliko njih: na sektor energetike, prometa, industrije, poljoprivrede, gospodarenja otpadom i korištenje zemljišta, prenamjena zemljišta i šumarstvo (LULUCF). Najveći doprinos emisiji stakleničkih plinova u 2019. godini, ne uključujući LULUCF, imao je sektor energetike sa 69,6 %, zatim slijede industrijski procesi i uporaba proizvoda sa 11,6 %, poljoprivreda sa 11,4 % i otpad sa 7,4 % (Slika 4) (NIR, 2021).



Slika 4. Doprinosi pojedinih sektora emisijama stakleničkih plinova u Republici Hrvatskoj u 2019. godini (izvor: NIR, 2021)

Najveći doprinos emisiji stakleničkih plinova u 2019. godini, ne uključujući LULUCF, imala je emisija CO₂ sa 75,3 %, slijedi CH₄ sa 15,1 %, N₂O sa 7,3 % te HFCs, PFCs i SF₆ sa 2,3 % (Slika 5).



Slika 5. Doprinos pojedinih plinova ukupnoj emisiji u Republici Hrvatskoj u 2019. godini (izvor: NIR, 2021)

IPCC odnosno Međuvladin panel o klimatskim promjenama 1990. godine objavljuje svoje prvo izvješće o klimatskim promjenama u kojima „s velikom sigurnošću“ potvrđuje ljudski faktor u globalnom zagrijavanju te potencijalne opasnosti nastavi li čovječanstvo živjeti bez obaziranja na klimu. Upravo je ta spoznaja da pregrijavanje planeta, pretežno zbog emisije stakleničkih plinova, predstavlja najveći ekološki problem današnjice, dovela do usvajanja i potpisivanja Kyotskog protokola. On predstavlja međunarodni sporazum povezan s Okvirnom konvencijom Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC), koji obvezuje zemlje potpisnice postavljanjem međunarodno obvezujućih ciljeva smanjenja emisija stakleničkih plinova. Usvojen je u Kyotu u Japanu, 1997. godine, a stupio je na snagu 2005. godine. Republika Hrvatska Kyotski protokol potpisala je 1999. godine, a ratificirala 2007. godine. Sukladno Protokolu iz Kyota, Europska Unija preuzela je vodeću ulogu u borbi protiv klimatskih promjena i postavila cilj smanjenja emisija stakleničkih plinova za 80 % do 2050. godine, čime Republika Hrvatska pokazuje mogućnost ostvarenja europskog cilja odnosno smanjenja stakleničkih plinova. Protokol iz Kyota može se smatrati važnim, prvim i velikim korakom prema svjetskom sustavu smanjenja emisija koji će stabilizirati emisije stakleničkih plinova i koji može osigurati arhitekturu za buduće međunarodne sporazume o klimatskim promjenama (Poulopoulos, 2016).

Također, na konferenciji o klimatskim promjenama, donesen je prvi globalno pravno obvezujući klimatski sporazum - Pariški sporazum o klimatskim promjenama, potpisan na 21. zasjedanju Konferencije stranaka UNFCCC-a u Parizu 2015. godine. Nakon ratifikacije

Europske unije, sporazum je stupio na snagu u listopadu 2016. godine. Republika Hrvatska ratificirala je Pariški sporazum 2017. godine. Pariškim sporazumom EU se obvezala do 2030. godine smanjiti emisije stakleničkih plinova za 40 % u odnosu na 1990. godinu.

Nadalje, Europska komisija predstavila je europski zeleni plan - strategiju za postizanje održivosti gospodarstva EU-a pretvaranjem klimatskih i ekoloških izazova u prilike u svim područjima politike i osiguravanjem pravedne i uključive tranzicije. Svih 27 država članica EU-a obvezalo dati svoj doprinos preobrazbi Europe u prvi klimatski neutralan kontinent do 2050. Kako bi to postigle, države članice obvezale su se da će do 2030. godine smanjiti emisije za barem 55 % u odnosu na razine iz 1990. godine.

U travnju 2020. godine, Hrvatski sabor usvojio je Strategiju prilagodbe klimatskim promjenama. Radi se o prvom strateškom dokumentu koji daje procjenu promjene klime za Hrvatsku do kraja 2040. i 2070. godine. Postavljena je vizija „Republika Hrvatska otporna na klimatske promjene“, koja će se ostvariti kroz postizanje ciljeva da se smanjiti ranjivost prirodnih sustava i društva na negativne utjecaje klimatskih promjena, te da se jača otpornost i sposobnost oporavka od tih utjecaja. Također, cilj je potaknuti znanstvena istraživanja kako bi se bolje shvatila kompleksnost utjecaja klimatskih promjena i smanjio stupanj neizvjesnosti vezan uz učinke klimatskih promjena.

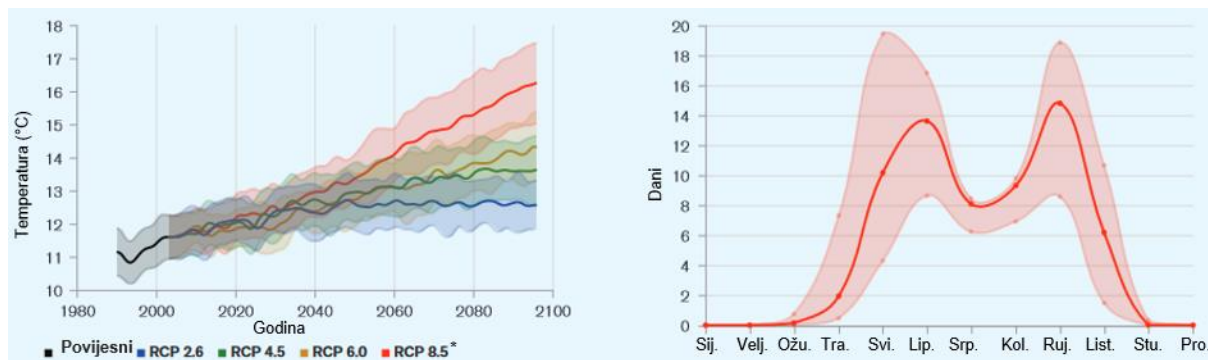
Kao potpisnica UNFCCC konvencije, Republika Hrvatska ima obvezu izrade Izvješća o nacionalnom inventaru (NIR) prema smjernicama IPCC-a i korištenja zemljišta, promjene korištenja zemljišta i šumarstva (LULUCF). Izvješće se izrađuje sukladno smjernicama Tajništva UNFCCC i metodologiji Međuvladinog tijela o klimatskim promjenama, kontinuirano od 2001. godine, u kojima su korišteni razni univerzalni koeficijenti za izračun stakleničkih plinova.

I zbog prošlih i zbog sadašnjih emisija stakleničkih plinova, svjesni smo činjenice da su klimatske promjene neizbježne. Drugim riječima, čak i ako emisije stakleničkih plinova i njihove razine u atmosferi prestanu rasti, globalno zatopljenje će nastaviti utjecati na zemljine prirodne sustave stotinama godina. Ukoliko ne dođe do značajnog smanjenja emisija stakleničkih plinova, klimatski modeli za Republiku Hrvatsku upućuju na značajne promjene klimatskih uvjeta u budućnosti (UNDP, 2008).

2.3. Klimatske promjene u Republici Hrvatskoj

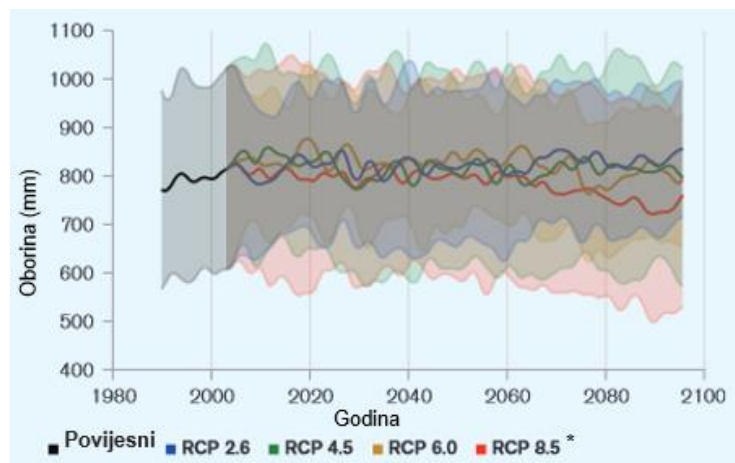
Prema svom geografskom položaju, Republika Hrvatska pripada Jadransko-Mediterranskoj i Panonsko-Dunavskoj skupini zemalja srednje Europe, gdje je Hrvatska svojim velikim dijelom dio Mediteranskog bazena (WBG, 2021). Upravo ta mediteranska regija zagrijava se 20 % brže od globalnog prosjeka te se smatra jednom od globalnih vrućih točaka, gdje su klimatske promjene intenzivnije (SOED, 2020).

Klimatske promjene u Republici Hrvatskoj u razdoblju 1961.-2010. godine analizirane su pomoću trendova godišnjih i sezonskih srednjih, srednjih minimalnih i srednjih maksimalnih temperatura zraka i indeksa temperaturnih ekstrema, zatim godišnjih i sezonskih količina oborine i oborinskih indeksa kao i sušnih i kišnih razdoblja. Prema analizi klimatskih promjena na području Hrvatske, utvrđeno je da se kroz zadnju 41 godinu Hrvatska grijala u prosjeku skoro trostruko brže nego planeta (Toman, 2020). Tijekom 20. stoljeća, u većini regija Republike Hrvatske, došlo je do pada količine padalina i porasta temperature, odnosno zatopljenja, u gotovo svakom godišnjem dobu. To potvrđuje i podatak da je tijekom proteklog 50-godišnjeg razdoblja (1961. – 2010. godina), prisutan statistički signifikantan porast srednje godišnje temperature zraka od 0,07 do 0,22 °C po dekadi duž hrvatskog obalnog područja (Gajić-Čapka i sur., 2011, 2014, 2018; Branković i sur. (2013). Godina 2007. bila je najtoplija godina, s odgovarajućom anomalijom 1,53 °C u odnosu na prosjek referentnog razdoblja 1961.-1990. godine. Najhladnija godina bila je 2005., s odgovarajućom anomalijom -0.1°C. Stoga, za 9 od 10 promatranih godina, temperatura zraka je bila iznad prosječne u razdoblju od 2001. – 2010. godine (NIR, 2021.). Novije analize podataka pokazuju da su osobito tople u Hrvatskoj bile godine 2018. i 2019., a 2019. je uspjela i premašiti 2018. za 0,16 °C (Toman, 2020). Prema svim scenarijima, temperature će za Hrvatsku nastaviti rasti do kraja stoljeća. Kao što se može vidjeti na slici 6 (lijevo), prosječne temperature brzo će rasti do sredine stoljeća. Tijekom sezonskog ciklusa (Slika 6 desno), nagli porast temperature osjetit će se od travnja do lipnja te ponovno u rujnu i listopadu (WBG, 2021).



Slika 6. Predviđena prosječna temperatura za Hrvatsku (referentno razdoblje 1986.–2005.) (lijevo) i Predviđena promjena temperature u ljetnim danima ($T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$) (desno) (izvor: https://climateknowledgeportal.worldbank.org/sites/default/files/2021-06/15847-WB_Croatia%20Country%20Profile-WEB_0.pdf ; preuredila: Marija Galić) (*RCP – eng. Representative Concentration Pathways, hrv. Reprezentativni putevi koncentracije)

Važno je naglasiti kako zagrijavanje atmosfere značajno utječe i na ostale klimatološke parametre, ne samo na promjene temperature zraka. Tako su se u Hrvatskoj od 1960. godine značajno promijenili i trendovi godišnjih i sezonskih količina oborina. Prema Zaninović i Gajić-Čapka (2008) trend godišnjih količina oborine ukazuje na njihovo smanjenje tijekom 20. stoljeća na cijelom području Hrvatske. Prema UNFCCC (2018), tijekom proteklog 50-godišnjeg razdoblja (1961. - 2010. godina), statistički značajno smanjenje oborina utvrđeno je na postajama u planinskom području Gorskog kotara i u Istri, kao i na južnom priobalju. Predviđanja za budućnost idu u jednakom smjeru - predviđa se da će se trendovi oborine stalno smanjivati tijekom stoljeća (u istočnim područjima može doći do povećanja oborina), no ovi negativni trendovi prvenstveno se predviđaju za ljetne mjesece u planinskim regijama, kao i u jadranskim područjima (Slika 7). Godišnje smanjenje oborine očekuje se i dalje u Istri i Gorskom kotaru, zbog smanjene proljetne količine oborine. Najveće povećanje ukupne oborine očekuje se na otocima u jesen, a u sjevernoj Hrvatskoj zimi (UNFCCC, 2018; WBG, 2021). Na regionalnoj razini, očekuje se da će zapadna, a posebice južna područja doživjeti najznačajnije smanjenje oborine.

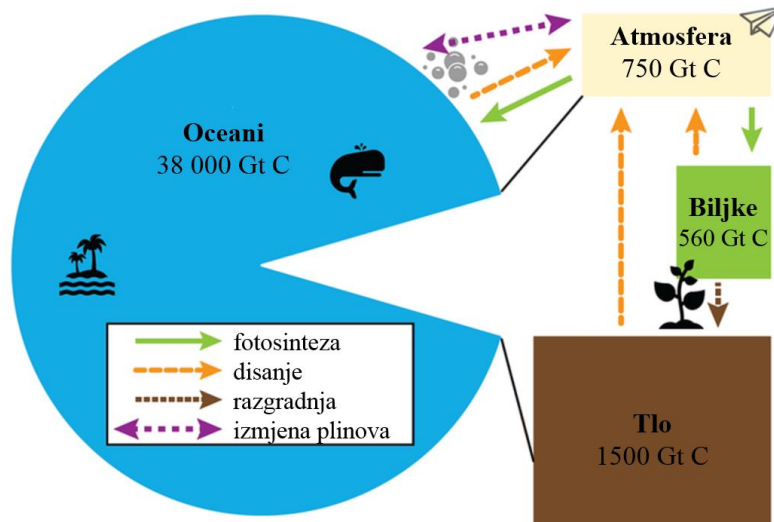


Slika 7. Predviđena godišnja prosječna količina oborine u Hrvatskoj (izvor: https://climateknowledgeportal.worldbank.org/sites/default/files/2021-06/15847-WB_Croatia%20Country%20Profile-WEB_0.pdf ; preuredila: Marija Galić) (*RCP – eng. Representative Concentration Pathways, hrv. Reprezentativni putevi koncentracije)

2.4. Ugljik i njegovo kruženje u prirodi

S obzirom da predstavlja najvažniji sastavni dio svih organskih spojeva, kažemo da je ugljik okosnica života na Zemlji. Samim time što su molekule ugljika tražene od svih organizama, pokreće se složeni ciklus ugljika kroz sve žive sustave. Ciklus ugljika predstavlja proces u kojem se spojevi ugljika međusobno izmjenjuju u biosferi, geosferi, pedosferi, hidrosferi i atmosferi Zemlje. Hidrosfera predstavlja najveći, a atmosfera najmanji spremnik za globalnu cirkulaciju ugljika. Tako oceani sadrže oko 38 000 Gt C, najvećim dijelom u srednje dubokom i dubokom oceanu (Lal, 2018). Prije početka industrijskog društva atmosfera je sadržavala oko 600 Gt C, dok se danas taj broj kreće oko 750 Gt C (Glavač, 1999; Lal, 2010; Pütz i sur., 2014). Litosfera, koja uključuje stijene, tlo i fosilna goriva, sadrži golemu količinu ugljika, otprilike oko 1 000 000 Gt C. Iako litosfera sadrži doista znatnu količinu ugljika, kada se uzme u obzir trenutno aktivno kruženje ugljika u prirodnim procesima, oceani se zbog njihove izmjene CO₂ s atmosferom i golemog skladištenja otopljenog ugljika, ističu kao najveći aktivni rezervoar ugljika (Carlson i sur., 2001). Nadalje, s obzirom na ogroman kapacitet skladištenja ugljika, koji daleko premašuje biosferu i atmosferu, važno je napomenuti da globalna tla sve više zaokupljaju pozornost međunarodne znanstvene zajednice. Procjenjuje se da tla obično pohranjuju oko 1500 Gt organskog ugljika u tlu samo u profilu dubine 1 m (od čega se oko 50 % od te količine procjenjuje za prvih 30 cm dubine tla) (Stockmann i sur., 2013; Scharlemann i sur., 2014; FAO, 2015; Plaza i sur., 2018), što je dvostruko više od količine gore

spomenutog atmosferskog ugljika (oko 750 Gt C) i gotovo tri puta veća količina od ugljika pohranjenog u živoj kopненоj vegetaciji (oko 560 Gt C) (Lal, 2018). Time tlo predstavlja drugi po redu globalni rezervoar ugljika nakon oceana i glavni je globalni asimilator godišnjeg antropičkog ugljičnog otiska (uz vegetaciju i močvare) (Slika 8).



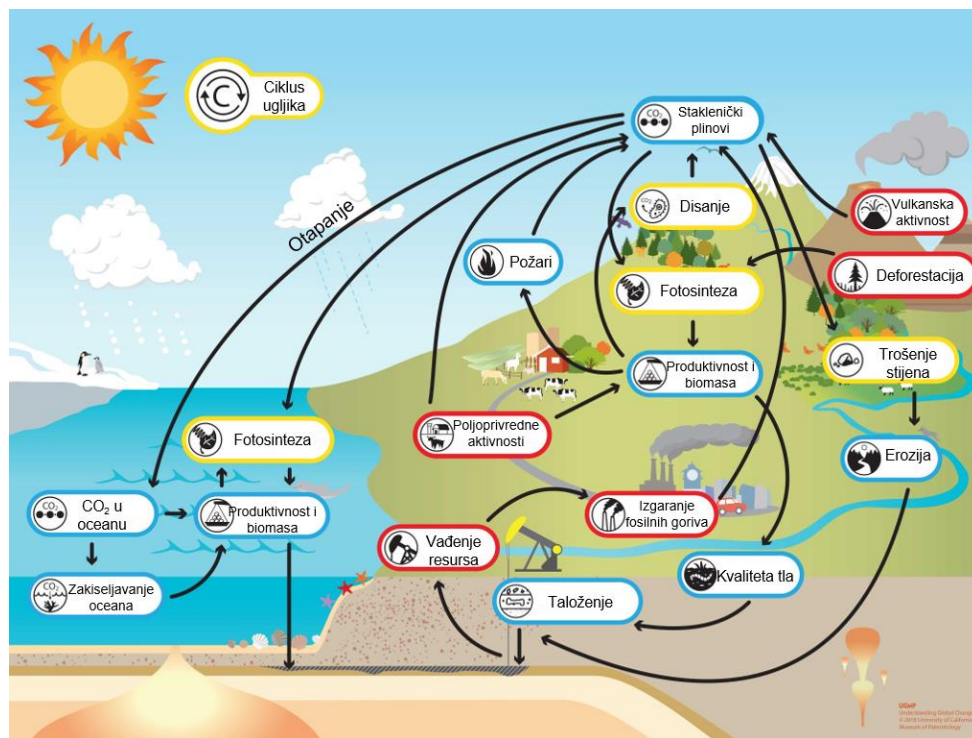
Slika 8. Spremišta ugljika (Gt C) na Zemlji (izvor:

<https://www.futurelearn.com/info/courses/the-biology-of-bugs-brains-and-beasts/0/steps/68848> ; preuredila: Marija Galić)

Ciklus ugljika posjeduje veliku važnost u agroekosustavima zbog svojih svojstava održavanja života i održivosti tla. On predstavlja biokemijski ciklus povezan s protokom energije u ekosustavu (Haszpra i Barcza, 2010). Također, ciklus ugljika predstavlja niz procesa koji se odvijaju u vremenskom rasponu od nekoliko sati do nekoliko milijuna godina. Procesi koji se odvijaju u kraćim vremenskim razdobljima uključuju fotosintezu, disanje, izmjenu ugljičnog dioksida (zrak–more) te nakupljanje humusa u tlu. Dugoročni ciklus ugljika, koji se odvija milijunima godina, predstavlja ono što nas interesira kada se razmatra podrijetlo fosilnih goriva. Taj dugotrajni ciklus, odlikuje se izmjenom ugljika između stijena i površinskog sustava, koji se sastoji od oceana, atmosfere, biosfere i tla. Dugoročni ciklus ugljika glavni je regulator koncentracije atmosferskog ugljičnog dioksida i atmosferskog kisika u geološkom vremenskom razdoblju (Farooqi i sur., 2021).

Ugljik se kreće iz jednog spremnika u drugi kroz različite mehanizme, stoga ciklus ugljika možemo opisati kroz nekoliko koraka. On obično započinje kada biljke apsorbiraju ugljik prisutan u atmosferi za potrebe fotosinteze, koja se smatra pokretačem procesa koji stoji

iza skladištenja ugljika u biomasi. Jedan dio organskih spojeva biljka koristi za izgradnju tkiva, dok drugi dio biljke razlažu procesom staničnog disanja, gdje se oslobađa energija i otpušta CO₂ u atmosferu. Biljke su zatim konzumirane od strane životinja, a ugljik biva bioakumuliran u njihovim tijelima. Spomenute biljke i životinje na kraju odumiru, nastane organska tvar tla, a CO₂ se razgradnjom oslobađa natrag u atmosferu uslijed disanja mikroorganizama. Dio ugljika koji se ne ispušta natrag u atmosferu postaje fosilno gorivo, koje se zatim koristi za aktivnosti koje je stvorio čovjek, što vraća više ugljika natrag u atmosferu (Slika 9).



Slika 9. Kruženje ugljika u prirodi (izvor: <https://ugc.berkeley.edu/background-content/carbon-cycle/>; preuredila: Marija Galić)

Iako se biološke i antropogene kontrole nad kruženjem ugljika i protokom stakleničkih plinova razlikuju među glavnim ekosustavima, osnovni ekofiziološki procesi koji kontroliraju nakupljanje i gubitak ugljika u i iz ekosustava su slični. Kopneni odnosno terestrički ekosustavi koji se sastoje od vegetacije i tla koji sadrži zajednice mikroba i beskralješnjaka, sekvestriraju CO₂ izravno iz atmosfere. Kopneni ekosustav predstavlja glavni biološki čistač atmosferskog CO₂ čija se neto godišnja sekvestracija ugljika može značajno povećati za nekoliko gigatona pažljivim i racionalnim upravljanjem značajnijeg dijela globalne biomase (Reichle i sur., 1999). Tokovi ugljika povezani s vodenim ekosustavima javljaju se bočnim prijenosom preko rijeka i potoka, sedimentacijom u kopnenim i obalnim vodama te emisijom stakleničkih plinova iz vodenih tijela (CCSP, 2007; Tranvik i sur., 2009).

Tlo je resurs koji je najosjetljiviji na klimatske promjene, ali kao što smo naveli, predstavlja glavni rezervoar ugljika. CO₂ u tlu primarno nastaje mikrobiološkom razgradnjom organske tvari uključujući i procese disanja korijenja biljaka, mikroorganizama, faune tla te rizosfere (Carlisle i sur., 2006). Prema Ontl i Schulte (2012) ugljik iz tla proizlazi izravno iz rasta i odumiranja korijena biljke, te neizravno iz prijenosa spojeva obogaćenih ugljikom iz korijena do mikroba u tlu. Razgradnja biomase pomoću mikroba u tlu rezultira gubitkom ugljika kao CO₂ iz tla zbog disanja mikroba, dok se mali udio izvornog ugljika zadržava u tlu stvaranjem humusa. Organski ugljik u tlu je po prirodi veoma dinamičan i antropogene aktivnosti mogu ga različitim aktivnostima pretvoriti u ponor ili izvor atmosferskih stakleničkih plinova. Nakon što ugljik uđe u tlo u obliku organskog materijala iz flore i faune tla, može u njemu opstati desetljećima, stoljećima ili čak tisućljećima prije nego dođe do njegovog oslobađanja mikroorganizmima. S obzirom da je humus vrlo otporan, upravo ta otpornost na raspadanje dovodi do dugog zadržavanja ugljika u tlu. Biljni ostaci manje su otporni, što rezultira mnogo kraćim vremenom zadržavanja u tlu (Ontl i Schulte, 2012).

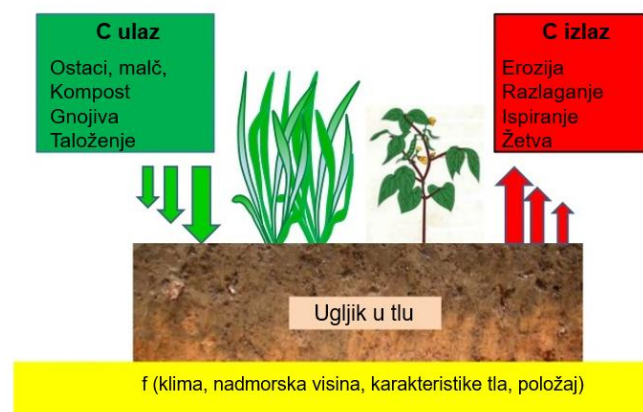
Organski ugljik iz tla može se izgubiti natrag u atmosferu u obliku ugljičnog dioksida, postati materijal tla koji je erodiran ili se otopiti u obliku organskog ugljika i otjecati u oceane i rijeke. Upravo to se zove ciklus ugljika koji odlučuje o zdravlju tla, plodnosti i produktivnosti kako bi se osigurale veće koristi za dobrobit ljudi, proizvodnju hrane i regulaciju klime. Stoga je zaštita ekosustava vrlo važna, s obzirom da može smanjiti ili spriječiti gubitak ugljika koji je trenutno pohranjen u kopnenoj biosferi.

2.5. Sekvestracija ugljika

Sekvestracija ugljika definira se kao "hvatanje" te sigurno skladištenje ugljika koji bi u protivnom bio emitiran ili zadržan u atmosferi. Ona se može kvantificirati kao promjena u količini zalihe ugljika u ekosustavu ili između ekosustava (Zhu i sur, 2010). Glavna zadaća sekvestracije ugljika je spriječiti emisije ugljika uzrokovane ljudskim aktivnostima da dospiju u atmosferu na način da ih "uhvatimo" i preusmjerimo u sigurno skladište, ukloniti ugljik iz atmosfere i pohraniti ga. Godišnje stope skladištenja ugljika i promjene u zalihama ugljika varijabilne su s obzirom na količinu godišnje varijance u klimi i produktivnosti vegetacije. Svi ekosustavi imaju konačan kapacitet skladištenja za određenu klimu koji je ograničen ekofiziološkim ograničenjima primarne produktivnosti, disanja i razgradnje, što rezultira neto ravnotežom ugljika (Chapin i sur, 2006).

Prema autorima Bilandžija i sur. (2016) smanjenje emisija stakleničkih plinova sekvestracijom od primarne je važnosti, jer se upravo na taj način korištenjem pravilne agrotehnike održava te povećava sadržaj ugljika u tlu i biljnoj masi, a samim time i klimatske promjene se ublažavaju. Također, prema Lal i sur. (2015) imamo brojne ciljeve sekvestracije C u tlu u koje ubrajamo: (i) kompenzacija antropogenih emisija izgaranjem fosilnih goriva, proizvodnjom cementa i krčenjem šuma, (ii) smanjenje neto povećanja atmosferske koncentracije CO₂, (iii) poboljšanje koncentracije (i skladišta) organskog C u tlu iznad razine praga od 1,5 – 2,0 %, (iv) obnavljanje kvalitete tla i njegovih funkcija te usluga ekosustava, (v) poboljšanje sposobnosti zadržavanja vode i hranjivih tvari, (vi) povećanje učinkovitosti korištenja inputa u tlima upravljanih ekosustava, (vii) smanjenje rizika od ubrzane erozije, (viii) stvaranje klimatski "pametnih tala i agroekosustava", (ix) poboljšanje učinkovitosti korištenja inputa i jačanje karakteristika tla za suzbijanje bolesti, i (x) povećanje i održavanje poljoprivredne produktivnosti, te unapređenje sigurnosti hrane i prehrane.

Dakle, primjenom dobre poljoprivredne prakse sekvestracija ugljika u tlu može se povećati. Prakse koje pospješuju sekvestraciju C u tlu uključuju pošumljavanje, konzervacijsku obradu tla i malčiranje, integrirano upravljanje hranjivim tvarima i usvajanje sustava s visokom bioraznolikošću (Lal, 2004). Uključuju također primjenu komposta, stajskog gnoja, zelene gnojidbe, pravilnog plodoreda, zaoravanja posliježetvenih ostataka te uzgoj pokrovnih usjeva (Mäder i sur, 2002; Lal, 2004; Fließach i sur., 2007; Bilandžija, 2015) (Slika 10). Također je važno napomenuti i kako obnova degradiranih tala i ekosustava ima golemi potencijal sekvestracije ugljika. Terestrička sekvestracija ugljika smatra se dobitnom strategijom te nudi veliku paletu mogućnosti zadržavanja ugljika za prvih nekoliko desetljeća 21. stoljeća (Lal, 2004).

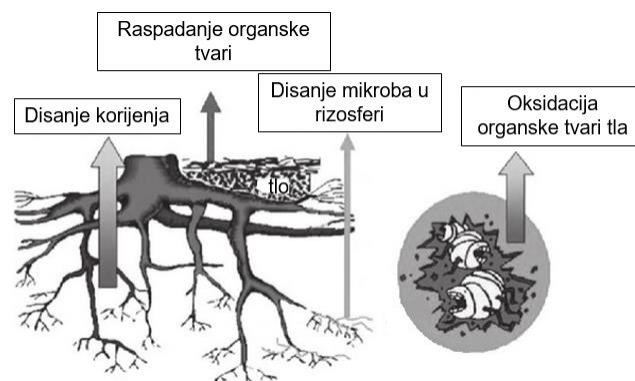


Slika 10. Čimbenici koji kontroliraju sekvestraciju C u tlu (izvor:

<https://www.iasparliament.com/blogs/pdf/soils-to-sequester-carbon> ; preuredila: Marija Galić)

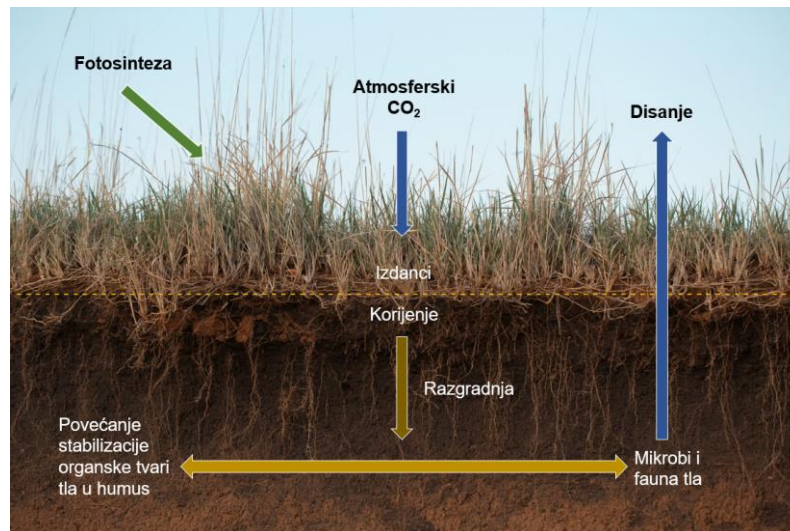
2.6. Disanje tla

Kao ključni proces ekosustava koji oslobađa ugljik iz tla u obliku CO₂, disanje tla igra važnu ulogu u globalnom kruženju ugljika kao i u drugim ciklusima hranjivih tvari. Respiracija odnosno disanje tla glavni je izvozni put organskog ugljika iz bazena ugljika u tlu i glavni je izvor atmosferskog ugljičnog dioksida (Hanson i sur., 2000). Disanje tla doprinosi sa približno 10 % ukupnog atmosferskog ugljičnog dioksida, što predstavlja drugi najveći protok ugljikovog ciklusa u kopnenim ekosustavima (Bond-Lamberty i Thomson, 2010a). Disanje tla, kojim dolazi do oslobađanja ugljikovog dioksida iz tla, uključuje tri biološka procesa, odnosno disanje mikroba i razgradnju organske tvari tla, disanje biljke (korijenja i rizosfere) te disanje faune primarno na površini tla ili unutar tankog gornjeg sloja gdje je koncentrirana većina biljnih ostataka. Uz tri biološka procesa, disanje tla uključuje i jedan ne-biološki proces, odnosno kemijsku oksidaciju koja može biti izražena na višim temperaturama (Rastogi i sur., 2002) (Slika 11).



Slika 11. Shematski prikaz procesa proizvodnje CO₂ u tlu (izvor: Luo i Zhou, 2004; preuredila: Marija Galić)

Prema autorima Macfadyen (1963), Macfadyen (1970) i Reichle i sur. (1975), mikroflora tla doprinosi sa 99 % stvaranju CO₂ koji nastaje kao rezultat razgradnje organske tvari, dok je doprinos faune tla puno manji. Disanje korijenja doprinosi sa 50 % ukupnom disanju tla. Mjerenje respiracije tla pokazatelj je brojnosti i aktivnosti mikroorganizama u tlu. Veća i aktivnija zajednica će maksimizirati funkcioniranje tla kao što je prihvaćanje i korištenje ostataka te učiniti hranjive tvari biljci dostupnima (Slika 12).

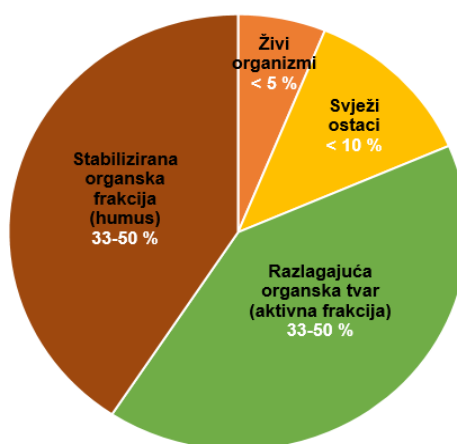


Slika 12. Disanje tla (izvor: M. Galić)

Unatoč tome što predstavlja dominantnu komponentu disanja ekosustava, disanje tla može biti teško za kvantificirati na razini ekosustava zbog njegove velike varijabilnosti u prostornom, sezonskom i međugodišnjem smislu (Savage i Davidson, 2001; Xu i Qi, 2001; Scott-Denton i sur., 2003). Jedan od razloga za ovu varijabilnost je taj što je respiracija tla sastavni dio dvaju komponenti, koju čine autotrofno disanje (disanje korijena biljaka i njihovih simbiotskih mikroorganizama) te heterotrofno disanje (disanje raspadajuće biljne biomase, organske tvari tla, listinca i životinja u tlu (Scott-Denton i sur., 2006). Uzevši u obzir da ove dvije komponente imaju potencijal sasvim drugačije reagirati na klimatske uvjete i promjene te na sastav mikrobne zajednice, razumijevanje različitih kontrola ove dvije komponente trebalo bi nam omogućiti bolji uvid u uzroke varijabilnosti promatranih stopa respiracije tla i poboljšati našu sposobnost modeliranja toka CO₂ u tlu (Bhupinderpal-Singh i sur., 2003; Lavigne i sur., 2003, 2004; Lee i sur., 2003; Pendall i sur., 2003; Wan i Luo, 2003). Međutim, ostaje činjenica da mjeriti ova dva toka odnosno dvije komponente neovisne jedna o drugoj nije jednostavno, a također se javljaju i razna ograničenja u smislu sustavnog širenja pogreške i/ili poremećaja tla. Iako u normalnim uvjetima nije pronađena nikakva razlika između heterotrofnih i autotrofnih vrijednosti (Bååth i Wallander, 2003), neke studije su otkrile da heterotrofno disanje jače utječe na globalno zagrijavanje (Wang i sur., 2014), dok su druge studije primijetile suprotno (Lavigne i sur., 2003).

2.6.1. Razgradnja organske tvari tla

Organska tvar tla predstavlja složenu kombinaciju živih organizama, svježih organskih ostataka, aktivno raspadajućeg materijala te stabilizirane organske tvari (humusa). Organska tvar uglavnom se sastoji od ugljika, vodika i kisika, ali također sadrži i male količine hranjivih tvari kao što su dušik, fosfor, sumpor, kalij, kalcij i magnezij koji se nalaze u organskim ostacima (Nivethadevi i sur., 2021). Ona se može podijeliti na živu organsku tvar, koja se sastoji od bakterija, gljivica i insekata, te neživu organsku tvar koju čine izumrli ostaci biljnih i životinjskih organizama (Hopkins i Gregorich, 2005) (Slika 13).

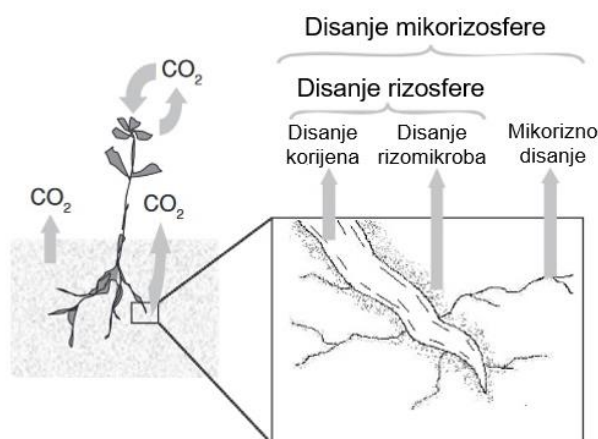


Slika 13. Komponente organske tvari tla (izvor: Nivethadevi i sur., 2021; preuredila: Marija Galić)

Razgradnja organske tvari većinom je biološki proces koji se odvija prirodno. Njegovu brzinu određuju tri glavna čimbenika: organizmi u tlu, fizički okoliš i kvaliteta organske tvari (Brussaard, 1994). U procesu razgradnje organske tvari oslobađaju se različiti produkti kao što su CO₂, energija, voda, biljna hranjiva i resintetizirani organski spojevi ugljika. Sukcesivna razgradnja mrtvog materijala i modificirane organske tvari rezultira stvaranjem složenije organske tvari nazvane humus (Juma, 1998) koji utječe na svojstva tla. Brzina razgradnje organske tvari tla ovisi o kvaliteti organske prostirke i uvjetima okoliša. Čimbenici kvalitete organske prostirke važni za razgradnju i mineralizaciju uključuju: sadržaj hranjivih tvari (npr. C:N), sastav organske tvari, posebice koncentracije lignina (lignin:dušik) i koncentracije polifenola (uključujući tanine). Organska prostirka s višim koncentracijama hranjivih tvari i nižim koncentracijama lignina i polifenola brže će se razgraditi, a neto mineralizacija počinje ranije. Temperatura tla, sadržaj vlage u tlu i srednje vrijeme zadržavanja također utječu na brzinu razgradnje.

2.6.2. Disanje korijena

Disanje korijena primarni je čimbenik u proizvodnji CO_2 u tlu, a samim time i glavni čimbenik koji utječe na disanje tla (Raich i Tufekciogul, 2000). Prema Hansonu i sur. (2000) disanje korijena obično čini najmanje 50 % disanja tla. Ono predstavlja temeljni metabolički proces odgovoran za rast, mobilizaciju i unos iona te održavanje stanica kroz tri različite funkcije: proizvodnju energije, proizvodnju ugljičnog skeleta i redoks balansiranje (Van der Werf i sur., 1994; Atkin i sur., 2015; O'Leary i sur., 2019). Prema Wiantovoj definiciji iz 1967. godine, disanje korijena uključuje sve respiratorne procese koji se odvijaju u rizosferi, što podrazumijeva disanje koje potječe iz organskih spojeva koji potječu iz biljaka, disanje živog korijenskog tkiva, simbiotskih mikoriznih gljiva i povezanih mikroorganizama, te organizama koji se raspadaju i djeluju na izlučevine korijena te nedavno mrtva tkiva korijena u rizosferi. U današnje vrijeme, izraz disanje korijena često se koristi u strožem smislu, odnoseći se samo na disanje živog tkiva korijena (Slika 14).



Slika 14. Izvori ugljika disanjem korijena (izvor: Moyano i sur., 2009; preuredila: Marija Galić)

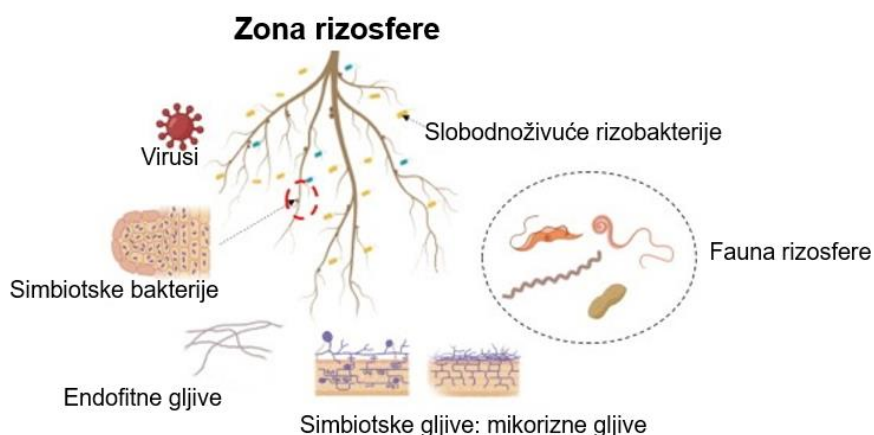
Na disanje korijena utječu mnogi ekološki, abiotički i biotički, kao i fizio-morfološki čimbenici. Brzina disanja korijena (brzina po jedinici mase) ključni je segment iz razloga što disanje uključuje gubitak ugljikohidrata, koje biljke koriste za rast i akumulaciju biomase. Brzina disanja korijena, poput svih biljnih tkiva, ovisi o koncentraciji dušika u tkivu (Pregitzer i sur. 1998). Kako se povećava koncentracija dušika u tkivu, povećavaju se i brzine disanja. Položaj pojedinog korijena u razgranatom korijenskom sustavu također utječe na brzinu disanja korijena. Korijeni manjih promjera i većih koncentracija dušika u tkivu, pokazuju veće stope respiracije po gramu tkiva (Pregitzer i sur., 2002). Kao najvažniji čimbenici okoliša koji utječu na disanje tla i disanje korijena, identificirani su temperatura tla i sadržaj vode u tlu (Fu i sur., 2019; Thurgood i sur., 2014; Bi i sur., 2019). Temperatura vrlo često predstavlja ograničavajući

čimbenik za aktivnosti korijena, posebno u umjerenim i hladnim klimama. Promjene temperature rezultiraju trenutnom promjenom brzine disanja izravnim učinkom na aktivnost enzima, te također mogu utjecati na disanje utječući na druge čimbenike kao što su dostupnost vode i kretanje hranjivih tvari (Moyano i sur., 2009). Visoke temperature, obično iznad 50 °C, mogu dovesti do dezintegracije enzimskih kompleksa, strukturne ozljede ili smrti stanica (Palta i Nobel, 1989). Vlažnost tla može postati ograničavajući čimbenik za disanje korijena u sušnim okruženjima, ali također i u močvarama i vlažnim zonama, posebno u ljetnim mjesecima. Vodeni potencijal tla u rizosferi, ima utjecaj na rast i funkcioniranje korijena (Moyano i sur., 2009). Različite studije koje povezuju disanje tla sa sadržajem vode u tlu pokazuju da se optimum za disanje tla obično nalazi pri srednjim vrijednostima sadržaja vode (Davidson i sur., 2000). Uz spomenute, na disanje korijena također utječu još i pH vrijednosti, salinitet, koncentracije CO₂ u tlu i atmosferi, morfologija korijena, starost biljke i drugi.

2.6.3. Disanje rizosfere i pripadajućih mikroorganizama

Rizosfera predstavlja gusto naseljenu frakciju tla bogatu ugljikom, budući da se 10 – 40 % fotosintetskog fiksnog ugljika otpušta kroz korijen u okolno tlo (Haichar i sur., 2014). U rizosferi, interakcije se ne odvijaju samo između tla i korijenja biljaka ili između korijenja biljaka i mikroorganizama, one se također odvijaju između samih biljaka i samih mikroorganizama. Stoga rizosferu opisujemo kao dinamično okruženje, kao okoliš gdje se pojavljuju interakcije između biljke i mikroorganizama, a koji se uvelike razlikuje od okolnog tla. Te razlike se mogu vidjeti u količinama mikroba, anorganskih iona i organskog materijala, kao i u pH vrijednostima te koncentracijama kisika i CO₂ (Lambers i sur., 1991). Takve složene interakcije imaju veliki utjecaj na ishranu, rast i zdravlje biljaka kroz njihov utjecaj na biokemijske cikluse, kao što su ciklusi ugljika, dušika i željeza (Dessaux i sur., 2009; Lecomte i sur., 2018).

Biljna vrsta, stadij razvoja biljke i tip tla navedeni su kao glavni čimbenici koji određuju sastav mikrobni zajednica rizosfere (Broeckling i sur., 2008). Mikrobna populacija u rizosferi sastoji se od različitih skupina mikroorganizama poput bakterija, gljivica, parazita, virusa i algi (Slika 15). Bakterije u rizosferi su veće i imaju veće udjele gram negativnih i denitrifikacijskih bakterija od onih u masi tla. Populacije gljiva rizosfere, koje obiluju i patogenim i mikoriznim vrstama, mogu biti 10 do 20 puta veće od onih izvan rizosfere. Protozoe i druga mikrofauna također uspijevaju u rizosferi zbog najveće dostupnosti hrane (Nihorimbere i sur., 2018).



Slika 15. Mikrobna zajednica rizosfere (izvor: Chamkhi i sur., 2022; preuredila: Marija Galić)

Mikrobni rast u rizosferi, kao i njegova aktivnost, usko su povezani s izlučevinama korijena i biljnim ostacima, koji se razlikuju od jedne biljne vrste do druge (Warembourg i sur., 2003, Garcia i sur., 2005). Tako možemo reći da je anaerobno disanje ključni proces za funkcioniranje ekosustava i interakcije između biljaka i mikroba. Važno je naglasiti i kako korijen biljaka aktivno mijenja biogeokemiju rizosfere, stoga bi se moglo reći da praktički svaki korijen ima kemijski, biološki i fizikalno jedinstvenu rizosferu (Hiltner, 1904.; Hinsinger i sur., 2009). Ove osobine mijenjaju se s biljnom vrstom, strukturom biljne zajednice i tipom tla predstavljajući gotovo beskonačan broj ekotipova rizosfere (Jones i Hinsinger, 2008).

Uz to što igraju važnu ulogu u ekološkoj ispravnosti biljke i tla, te sudjeluju u brojnim prethodno navedenim procesima vezanima za biljku, rizosferni mikroorganizmi mogu imati i negativne učinke na samu biljku. Jedan od najvažnijih negativnih učinaka mikroorganizama rizosfere je natjecanje između mikroorganizama i biljke za vodu, hranjive tvari i prostor. Neki od članova mikrobioma rizosfere mogu djelovati kao biljni patogeni, što rezultira različitim oblicima biljnih bolesti. Natjecanje između mikroorganizama u mikrobnoj zajednici u rizosferi može čak rezultirati gubitkom korisnih mikroorganizama (Nihorimbere i sur., 2018).

2.6.4. Disanje faune

Fauna tla ima važnu ulogu u razvoju tla i formiranju njegovih slojeva. Fauna tla uvelike pridonosi funkcionalnoj raznolikosti te raznolikosti vrsta unutar kopnenog ekosustava, te predstavlja ključnu komponentu za učinkovito funkcioniranje i regulaciju ekosustava (Wardle i sur., 2004; Hättenschwiler i sur., 2005; Madhav i sur., 2014; Gao i sur., 2012). Tlo predstavlja

dom za milijune različitih organizama, od mikroorganizama do raznih životinja poput nematoda, tardigrada, rotifera, kolembola, grinja, jednakonožaca, mrava, pauka i gujavica (Bardgett, 2005; Orgiazzi i sur., 2015).

Fauna kontrolira gotovo sve aspekte prometa organske tvari, prije svega reguliranjem aktivnosti i funkcionalnog sastava mikroorganizama u tlu i njihovu fizikalno-kemijsku povezanost s organskom tvari u tlu. Tako mogućnost komunikacije s mikroorganizmima (Li i sur., 2014; Yuan i sur., 2013; Read i Perez-Moreno, 2003) te njezin utjecaj na proces razgradnje svojim međudjelovanjima i učincima na mikrobnu biomasu, anorganske i organske zalihe dušika i zalihe organske tvari u tlu predstavlja njezinu važnu ulogu (Yeates, 2003; Osler i Sommerkorn, 2007).

Važno je naglasiti da fauna tla igra veliku ulogu i u ciklusu ugljika s obzirom na njihovu brojnost i biomasu. Zalihe ugljika u fauni tla kreću se od 0,3 do 50 kg C/ha, pri čemu pustinjaška tla sadrže najmanju biomasu faune, a najveća je u tlu umjerenih travnjaka i tropskih kišnih šuma (Fierer i sur., 2009). Biomasa faune tla čini manje od 3 % ukupne biomase živih organizama u tlu, pri čemu mikroorganizmi u tlu čine većinu. Međutim, unatoč njihovoj maloj biomasi u odnosu na brojnost mikroorganizama, fauna tla značajno pridonosi kruženju ugljika svojom regulacijom mikrobne aktivnosti, fizičkim miješanjem organskih materijala i tla, te utjecajem na brzinu razgradnje mikroorganizama. Stoga prisutnost faune tla potiče razgradnju, nedvojbeno utječe na stope disanja (tj. tok CO_2) te stimulira gubitke otopljenog organskog ugljika ispiranjem (de Vries i sur., 2013). Razumijevanje izravnih i neizravnih utjecaja faune tla na dostupnost hranjivih tvari, sekvestraciju ugljika, emisije stakleničkih plinova ključno je za razumijevanje dinamike organske tvari tla u kontekstu kruženja ugljika (Filser i sur., 2016).

2.7. Čimbenici koji utječu na emisiju CO_2 iz tla

Emisija CO_2 iz tla glavna je komponenta emisije ugljikovog dioksida povezane s poljoprivrednom praksom. Svojstva tla imaju veliki utjecaj na emisiju i razmjenu stakleničkih plinova, pa je stoga i učinak fizikalno-mehaničkih, kemijskih ili bioloških svojstava na stakleničke plinove u tlu vrlo složen jer ga određuju različiti čimbenici (Buragiené i sur., 2019). Poljoprivredna praksa odnosno poljoprivredne aktivnosti znatno utječu na emisiju CO_2 iz tla na različite načine. Tu podrazumijevamo gnojidbu tla (Shao i sur., 2014), obradu tla (Jabro i sur., 2008), korištenje zemljišta (Han i sur., 2012), konverziju usjeva (Alberti i sur., 2010) te navodnjavanje (Mancinelli i sur., 2015). Također, veliki značaj emisijama CO_2 iz tla pridonose temperatura tla, sadržaj vode u tlu, C:N u tlu, količina organske tvari, mikroorganizmi, prisustvo

vegetacije, vrsta vegetacije, pH tla, te ostali čimbenici (Bajracharya i sur., 2000; Curtin i sur., 2000; Ludwig i sur., 2001; Parkin i Kaspar, 2003; Skiba i Ball, 2002; Lal, 2003.; Ball, 2013).

2.7.1. Temperatura tla

Temperatura ima značajan utjecaj na oslobađanje CO₂ iz tla. Stoga, možemo reći da temperatura utječe na svaki aspekt respiratornih procesa. Poznato je da u tim respiratornim procesima sudjeluju brojni enzimi, a na njihovu aktivnost utječe upravo temperatura. Brzina respiracije tla često je u pozitivnoj korelaciji s temperaturom okoline. Kao takve, više temperature često su povezane s višim stopama disanja tla, ubrzavanjem stopa kruženja ugljika putem autotrofne respiracije i pružanjem potencijalno snažne pozitivne povratne informacije klimatskom zagrijavanju putem heterotrofne respiracije ugljika u tlu (Luo i Zhou, 2004; Tang i sur., 2019). Stoga se pretpostavlja da je nedavni porast globalne temperature, kao rezultat klimatskih promjena, povećao brzinu disanja tla, potičući pojačani učinak staklenika i pozitivnu povratnu informaciju o klimatskim promjenama.

Temperatura utječe na gotovo sve aspekte disanja tla. Ona utječe na komponente disanja tla utječući na mikroorganizme tla, korijenje biljaka i aktivnost respiratornih enzima. Sukladno tome, utjecaj temperature na disanje tla ovisi o tome koja od navedenih komponenti se razmatra. Tako, disanje korijena raste eksponencijalno do temperature do 35 °C, a preko te temperature disanje je inhibirano. Temperatura neizravno utječe na disanje korijena zbog utjecaja na njihov rast. Čak i ako rast korijenskog sustava varira od jedne vrste do druge, kao i od sezone do sezone, dobro je poznato da se korijenski sustav povećava s temperaturom (Sandor, 2010). Važnost temperaturne ovisnosti organizama u tlu dodatno je naglašena tijekom posljednjih godina zbog problema globalnog zatopljenja (Kirschbaum, 2000.), budući da su mikroorganizmi glavna skupina koja proizvodi CO₂ tijekom razgradnje organskog materijala u tlu. Najbolje temperature za razvoj mikroorganizama su < 20 °C (kriofilni mikroorganizmi), 20 - 40 °C (mezofilni mikroorganizmi), odnosno > 40 °C (termofilni mikroorganizmi) (Sandor, 2010). Te funkcionalne skupine su više ili manje metabolički aktivne i stoga različito doprinose emisiji CO₂ iz tla. Kada temperatura tla padne ispod 0 °C, disanje tla je vrlo nisko zbog slabog metabolizma korijena i mikroorganizama.

Mnogi autori u svojim istraživanjima utvrdili su pozitivnu korelaciju između stope disanja i temperature za mnoga tla u prirodnim i poljoprivrednim uvjetima (Bauchmann, 2000; Iqbal i sur., 2009; Zheng i sur., 2009; Galić i sur., 2019; Zhao i sur., 2020; Gao i sur.; 2022). Liu i sur.

(2002) smatraju da je promjena temperature važan razlog za dnevne i sezonske promjene disanja tla.

2.7.2. Sadržaj vode u tlu

Sadržaj vode u tlu također predstavlja jedan od važnijih čimbenika okoliša koji utječe na disanje tla. U suhim uvjetima, respiracija tla je niska odnosno smanjena, svoju maksimalnu vrijednost doseže u srednjim uvjetima vlažnosti, te se smanjuje na visokoj razini vlažnosti kada nastupe anaerobni uvjeti (Xu i Shang, 2016). Kapacitet tla za vodu predstavlja količinu vode u kojoj disanje tla funkcionira u optimalnim uvjetima. U tom stanju, makropore tla su pune zraka što olakšava difuziju kisika, dok su mikropore tla pune vode što omogućuje difuziju topivih tvari iz supstrata (Luo i Zhou, 2004; Davidson i Janssens., 2006).

Vlažnost tla utječe na tok CO_2 u tlu izravnim utjecajem na korijenje i mikrobne aktivnosti ili neizravnim utjecajem na fizikalna i kemijska svojstva tla (Raich i Schlesinger, 1992). U uvjetima ekstremne suše, kod mikroorganizama nastupa stanje mirovanja, dolazi do smanjenja metaboličke aktivnosti, a time i smanjenja disanja tla. Pokretljivost mikroorganizama kao i difuzija hranjivih tvari i radikularnih eksudata postaje otežana u takvim okolnostima. U uvjetima visoke vlažnosti, difuzija plinova i difuzija tvari prisutnih u supstratu predstavljaju glavne čimbenike koji preusmjeravaju disanje tla (Sandor, 2010). U oba dva slučaja, i pri niskom i pri visokom sadržaju vode, može doći do ograničavanja respiracije mikroba u tlu (Davidson i Janssens., 2006). U svom istraživanju, autori Lou i Zhou (2004) pokazuju da je difuzija O_2 i CO_2 u vodi bila 10 000 puta manja nego u zraku, ukazujući na to da se područje difuzije dvaju plinova smanjuje kada se pore u tlu napune vodom.

Periodično sušenje i vlaženje tla ima izražen utjecaj na razvoj CO_2 . Kada se nakon suše tlo ponovno navlaži, povećava se aktivnost mikroorganizama, koji su bili u latentnom stanju u suhom tlu, uz oslobađanje zraka zarobljenog u porama tla, što pridonosi povećanju oslobađanja CO_2 (Rastogi i sur., 2002). Prema Casalsu i sur. (2000) ponovno vlaženje suhog tla rezultiralo je velikim povećanjem emisije CO_2 samo pri visokim temperaturama. U svom istraživanju, Borken i sur. (1999) primijetili su da je suša smanjila disanje tla, dok je ponovno vlaženje povećalo disanje za 48 % do 144 %.

Temperatura tla također predstavlja važan čimbenik koji regulira učinke vlage na tokove CO_2 (Rochette i sur., 1991). Drugim riječima, svaki potencijalni učinak vlage u tlu na CO_2 emisije može biti djelomično prikriven temperaturnim razlikama u tlu, jer se ta dva svojstva okoliša obično mijenjaju istovremeno (Wagai i sur., 1998; Xu i Qi, 2001a; Ding i sur., 2010).

Temperatura tla ima tendenciju biti visoka kada je vlažnost tla niska i obrnuto, miješajući učinak tih dvaju čimbenika na emisije CO₂. Autori Grahammer i sur. (1991) uočili su da je u uvjetima suhog tla respiracija tla bila veća danju nego noću, dok su stope respiracije tla danju i noću bile slične kada je tlo bilo vlažno. To se pripisuje smanjenju varijabilnosti temperature tla kada je tlo mokro.

Mnoga provedena istraživanja pokazala su da emisija CO₂ iz tla pozitivno korelira sa sadržajem vode u tlu (Grahammer i sur., 1991; Raich i Potter, 1995; Buragiene i sur., 2019), dok su neka istraživanja pokazala suprotno (Ussiri i Lal, 2009).

2.7.3. Vegetacija

Poznato je da na disanje tla također utječe i vegetacijski pokrov. Vegetacija utječe na disanje tla utječući na mikroklimu i strukturu tla, količinu organske tvari koja se unosi u tlo i kvalitetu te organske tvari, te na ukupnu brzinu disanja korijena (Raich i Tufekcioglu, 2000; Xu i Shang, 2016). Sukladno tome, uočene su pozitivne korelacije s biomasom korijena, nadzemnom produktivnošću i bogatstvom vrsta od strane nekoliko autora (Rodeghiero i Cescatti, 2005; Chang i sur., 2009; Caprez i sur., 2012; Diaz i sur., 2010). Prema Han i sur. (2012), prisutnost vegetacije utječe na tokove CO₂ prvenstveno fotosintezom i povećanjem ukupnog disanja ekosustava. Disanje rizosfere uvelike ovisi o opskrbi ugljikohidratima upravo iz fotosinteze, koja osim klime ovisi i o fiziološkim i morfološkim čimbenicima biljaka. Stoga kažemo da je disanje rizosfere vjerojatno najdinamičnija komponenta disanja tla zbog brzih promjena klime i rasta vegetacije (Xu i Shang, 2016). Spomenuli smo da vegetacija također može utjecati na disanje tla kroz organske ostatke (i nadzemne i korijenske), koji predstavlja glavni izvor organskog ugljika u tlu. Na globalnoj razini, godišnja proizvodnja organskih ostataka u velikoj je korelaciji sa organskim ugljikom u tlu i disanjem tla (Davidson i sur., 2002; Sayer i sur., 2007; Han i sur., 2015).

Vrsta vegetacije također utječe na brzinu disanja tla, što potkrijepljuje činjenica da stope disanja tla značajno variraju među većim biljnim biomima (Raich i Schlesinger, 1992). Usporedbe različitih biljnih zajednica vrlo često pokazuju razlike u stopama disanja u tlu (Lieth i Ouellette 1962; Ellis, 1974). Varijabilnost u proizvodnji CO₂ unutar različitih usjeva potvrdio je i Rastogi i sur. (2002). Prema Schlesingeru i Andrews (2000.) najveće stope disanja tla nalaze se u tropima, gdje je rast biljaka veoma bujan i gdje su uvjeti idealni za razlagače. Sastav vrsta vegetacije također može utjecati na disanje tla (Hättenschwiler i sur., 2005; Chiang i sur., 2014).

Još davne 1915. godine Russell i Appleyard utvrdili su veću proizvodnju CO₂ na obrađenim nego na neobrađenim parcelama. Prema autorima Rastogi i sur. (2002) proizvodnja CO₂ je otprilike 2 do 3 puta veća u obradivom tlu u usporedbi s golim tlom.

2.7.4. Mikroorganizmi u tlu

U tlu, 80 – 90 % reakcija javlja se kao produkt djelovanja mikroorganizama (Nannipieri i Badalucco, 2003). Nekoliko okolišnih čimbenika, kao što su izvori ugljika i energije, mineralna hranjiva, faktori rasta, ionski sastav, dostupna voda, temperatura, tlak, sastav zraka, elektromagnetsko zračenje, pH, oksidacijsko-redukcijski potencijal, prostorni odnosi, genetika mikroorganizama i interakcija između njih, ima utjecaj na ekologiju, te aktivnost i dinamiku populacije mikroorganizama u tlu. Navedeni čimbenici okoliša mogu se znatno mijenjati, pa stoga kažemo da su mikrostaništa u tlu veoma dinamični sustavi (Nannipieri i sur., 2003).

Mikroorganizmi tla poput bakterija i gljivica, igraju glavnu ulogu u otpuštanju CO₂ metaboliziranjem organskih ostataka. Još krajem 19. stoljeća, znanstvenici su otkrili veću proizvodnju CO₂ u prirodnom golom tlu nego u sterilnom, što je dovelo do zaključka da prisutnost mikroorganizama pridonosi disanju tla (Déhérain i Moussey, 1986). To saznanje potkrjepljuje i istraživanje s biljkama gorušice gdje je otprilike 35 % proizvedenog CO₂ uzrokovano mikroorganizmima (Stille, 1938).

Za proračun mikrobnog ugljika pretpostavlja se da količina razvijenog C-CO₂ predstavlja 80 % ukupnog mikrobnog metaboliziranog ugljika, dok preostalih 20 % pridonosi povećanju biomase i izlučivanju metabolita (Alexander, 1961). Unatoč tome, disanje mikroorganizama može poslužiti kao alternativni parametar za procjenu njihove aktivnosti u tlu. Mjerenje disanja mikroorganizama u poljskim uvjetima je komplicirano, upravo iz razloga jer se znatna količina CO₂ također razvija kao rezultat aktivnosti faune tla i korijena biljaka. Problem povezan s kvantifikacijom mikrobne funkcije može se donekle riješiti procjenom mikrobne biomase u tlu, međutim to ne odražava pravu procjenu mikrobne aktivnosti jer se mikroorganizmi razlikuju u svojoj aktivnosti ovisno o stupnju razvoja i različitim klimatskim uvjetima.

Postoji bezbroj načina na koje mikroorganizmi u tlu i njihova metabolička aktivnost mogu utjecati na razmjenu ugljika između tla i atmosfere. Međutim, oni se općenito mogu podijeliti na one koji utječu na unos ugljičnog dioksida u ekosustavu, te na one koji kontroliraju gubitak ugljika iz tla disanjem. Važno je naglasiti kako klimatske promjene imaju izravne i neizravne učinke na aktivnosti mikroba u tlu, koji zatim povratno prenose stakleničke plinove

u atmosferu i pridonose globalnom zagrijavanju. Tako, izravni učinci uključuju utjecaj promjene temperature na mikroorganizme u tlu i proizvodnju stakleničkih plinova, promjene oborina te ekstremne klimatske pojave. Neizravni učinci proizlaze od klimatskih promjena koji se očituju u produktivnosti biljaka i strukturi vegetacije koje mijenjaju fizikalno-kemijske uvjete tla, opskrbu tla ugljikom te strukturu i aktivnost mikrobni zajednica uključenih u procese razgradnje te oslobađanje ugljika iz tla (Bardgett i sur., 2008).

2.7.5. Gnojidba tla

Poljoprivredne prakse kao što je gnojidba tla značajno utječu na protok stakleničkih plinova u tlu (Galić i sur., 2019b). Stoga emisije stakleničkih plinova uzrokovane primjenom gnojiva predstavljaju najveći izvor ukupnih poljoprivrednih emisija (Wang i sur., 2017). Mnoga istraživanja potvrdila su činjenicu da dodavanje gnojiva utječe na tokove stakleničkih plinova iz tla (Shimizu i sur., 2013; Chen i sur., 2017; Liu i sur., 2018; Wu i sur., 2018).

Organska tvar tla zauzima najveći dio zaliha ugljika u agroekosustavima (Brady i Weil, 2010). Također, ona igra vrlo važnu ulogu u globalnoj ravnoteži ciklusa ugljika i dušika gdje C:N predstavlja važan kriterij za ocjenu kvalitete humusa te izravno utječe na emisije stakleničkih plinova iz tla (Finn i sur., 2016; Kisić i sur., 2017; Zhou i sur., 2017; Gwon i sur., 2019). Visoke koncentracije dušika u tlu, osobito one nakon gnojidbe, mogu potaknuti procese transformacije dušika posredovane mikrobima (Bouwman i sur., 2002), stoga svaka transformacija organske tvari završava emisijama u okoliš. Gnojiva s niskim C:N mogu značajno povećati razgradnju ostataka i na taj način doprinijeti emisijama stakleničkih plinova (Aulakh i sur., 1991; Huang i sur., 2004; Jiang i sur., 2011; Abera i sur., 2014; Zhou i sur., 2019).

2.7.5.1. Organska gnojidba

Emisije CO₂ u tlu rezultat su kombinacije heterotrofnog i autotrofnog disanja, a oboje se može potaknuti dodatkom organskog komposta (Ryals i Silver, 2013). Sustavi upravljanja tlom koji dodaju organski otpad i uključuju ugljik procijenjeni su kao važne alternative za povećanje kapaciteta atmosferskih ponora ugljika (Tian i sur., 2009). Korištenje organskih dodataka, uključujući stajsko gnojivo, kompost, ostatke žetve i biokrutinu, rapidno se povećava, a njihov udio u poljoprivrednom zemljištu nastavlja rasti (Thangarajan i sur., 2013).

Organski dodaci poboljšavaju kvalitetu tla kemijskom, fizikalnom i biološkom aktivnošću (Shrestha i sur., 2013; Fereidooni i sur., 2013). Organski otpad obično je bogat ugljikom i dušikom, a njegov dodatak povećava sadržaj labilnog ugljika u tlu te stope nitrifikacije i denitrifikacije (Jones i sur., 2005).

Povećanje protoka CO₂ u poljoprivrednim tlima nakon odlaganja organskog gnojiva zabilježeno je od strane nekoliko autora (Scott i sur., 2000; Cai i sur., 2012; Ryals i Silver, 2013). Cayuela i sur. (2010) izvijestili su o emisijama CO₂ iz šest različitih vrsti otpada životinjskog podrijetla i otkrili da tla tretirana različitim životinjskim nusproizvodima povećavaju emisiju CO₂. Također, istraživanje Heintze i sur. (2017) rezultiralo je značajno većim CO₂ kod primjene gnojovke u odnosu na primjenu bioplinskog digestata. Istraživanja su pokazala kako je zamjena mineralnog gnojiva organskim gnojivom značajno smanjila emisiju stakleničkih plinova. Rezultati istraživanja Liu i sur. (2014) pokazali su da je zamjena kemijskog gnojiva organskim gnojivom značajno smanjila emisije stakleničkih plinova bez gubitaka prinosa usjeva što je preokrenulo poljoprivredni ekosustav s izvora ugljika (+2,7 t CO₂-eq. hm⁻² god⁻¹) na ponor ugljika (-8,8 t CO₂-ekv. hm⁻² god⁻¹).

2.7.5.2. Mineralna gnojidba

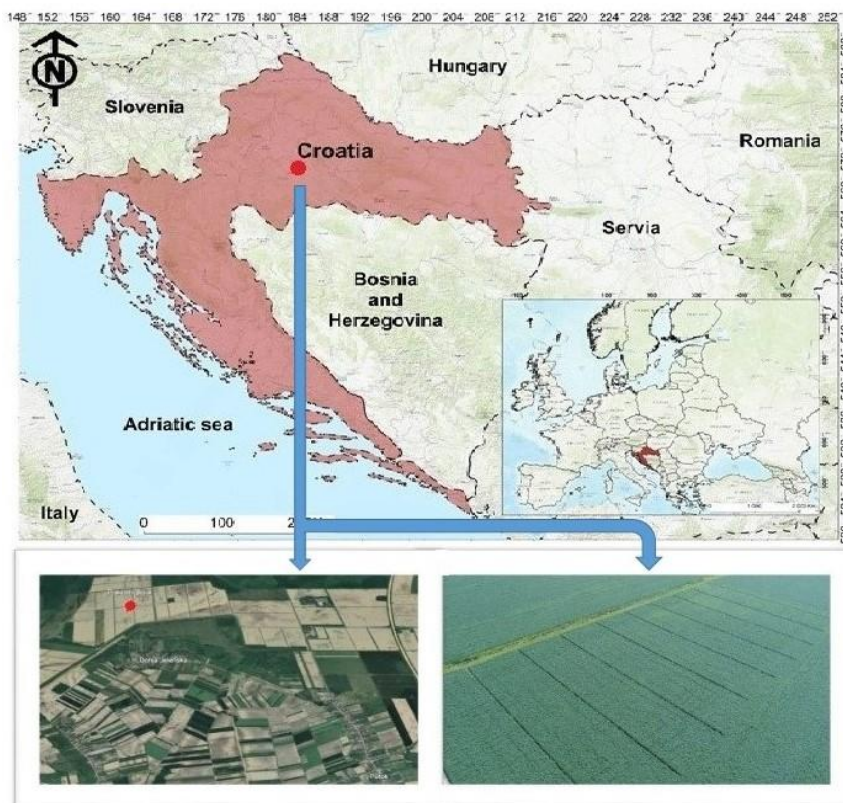
Sve veća svjetska populacija zahtijeva i sve veću proizvodnju hrane koja se mora proizvesti s ograničenog poljoprivrednog područja (FAO, 2006). Kao posljedica toga, poljoprivredna produktivnost u smislu prinosa po hektaru mora se poboljšati kako bi se održala dovoljna globalna opskrba hranom, hranom za životinje i bioenergijom. Stoga, kako bi se navedeni cilj ostvario, neophodna je proizvodnja i upotreba mineralnih gnojiva (Galić i sur., 2019b). S druge strane, industrija gnojiva je veliki potrošač energije i emiter stakleničkih plinova. Uzimajući u obzir prethodno navedeno da je održivost poljoprivrednih sustava u mnogim dijelovima svijeta ugrožena brzim porastom svjetske populacije, intenziviranje bez odgovarajućeg upravljanja i upotrebe agrokemikalija, uključujući mineralna gnojiva, ima negativne implikacije na ekosustav i okoliš (Abbasi i Khizar, 2012), smanjuje organsku tvar (Belay i sur., 2002; Nardi i sur., 2004; Wu i sur., 2004), smanjuje plodnost tla i povećava degradaciju okoliša (Tiwari i sur., 2008). Prema IPCC-u, sintetička N gnojiva koja se koriste u proizvodnji žitarica doprinijela su najvećem postotku ugljičnog otiska, u prosjeku 65 % ukupnih emisija (IPCC, 2006; Gan i sur., 2011). Prema autorima Bastida i sur. (2006). i Yan i sur. (2007) pokazalo se da primjena N gnojiva i uree utječe na većinu bioloških procesa u tlu koji su važni za mineralizaciju, sekvestraciju ugljika i kruženje hranjivih tvari.

Nekolicina autora zaključili su da povećanje količine gnojidbe mineralnim dušikom, poput amonijevog nitrata, može uzrokovati smanjenje emisije CO₂ u tlu u poljoprivrednim tlima (Kowalenko i sur., 1978; Wilson i Al-Kaisi, 2008). Mignon i sur. (2011) proučavali su učinak mineralne i organske gnojidbe na emisiju CO₂ u polju krumpira uključujući kontrolu bez gnojidbe, mineralnu gnojidbu i organsku gnojidbu. Dobiveni rezultati ukazuju na višu stopu respiracije tla u organski gnojenom tlu (porast od 153 – 485 %), dok su u mineralno gnojenom tlu i u kontrolnim tretmanima vrijednosti respiracije tla bile niže. U svom istraživanju, Zhang i sur. (2014) su zabilježili veću kumulativnu emisiju CO₂ iz planinskih tala u ekosustavu usjeva tretiranog mineralnim gnojivima od one emitirane iz tala bez gnojiva, ali manje od one emitirane iz tala tretiranih organskim gnojivima ili organskim i mineralnim gnojivima. Također, istraživanja navedenih autora pokazala su da primjena mineralnih gnojiva povećava emisije CO₂ (Shao i sur., 2014; Zamanian i sur., 2018; Zhang i sur., 2019).

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Lokacija istraživanja

Istraživanje se provelo na pokusnom polju koje je postavljeno 1996. godine za potrebe istraživanja ispiranja dušika iz mineralnih gnojiva i učinkovitosti apliciranog mineralnog dušika na prinos. U sklopu projekta „Utjecaj različitih načina korištenja tla na klimatske promjene“ 2011. godine, istraživanje se proširilo na mjerenje emisija ugljikovog dioksida iz tla (Zgorelec i sur., 2015), te se nastavilo u sklopu projekta „Gospodarenje tлом i klimatske promjene“ (Zgorelec i sur., 2017). Pokusno polje sa 10 različitih gnojidbenih tretmana smješteno je na oraničnim površinama poduzeća Moslavka Kutina d.d. (od 01.01.17. Belje d.d. - Agrokor), na parceli Jelenščak - tabla 9, u selu Potok, u blizini Popovače (Slika 16). Na slici 16 prikazan je isječak topografske karte s točnim položajem pokusnog polja (N 45o 33' 21.42" E 16o 31' 44.62"), na nadmorskoj visini od 93 m. Za potrebe izrade ove disertacije, od ukupno 10 tretmana, odabrana su i obrađena četiri pokusna tretmana.



Slika 16. Lokacija i isječak topografske karte s prikazom pokusnog polja (izvor: L. J. Telak, 2018; Google Earth, 2022; I. Dugan, 2023)

3.2. Tretmani pokusa

Na pokusnom polju odabrana su četiri pokusna tretmana koji su uključivali različite doze mineralnog i organskog gnojiva (Tablica 2).

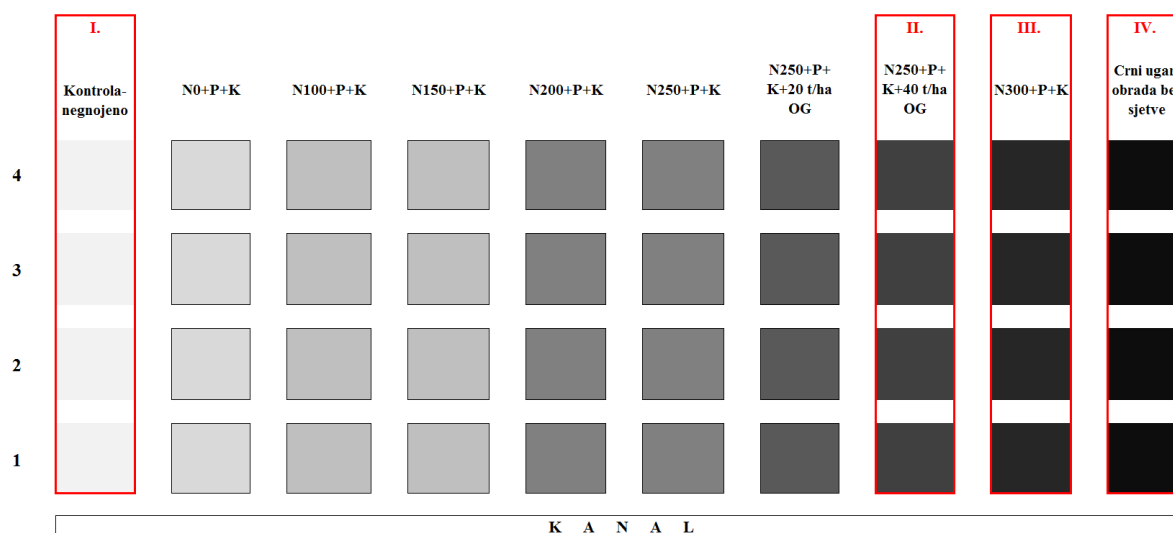
Tretmani pokusa su:

Tablica 2. Tretmani pokusa na istraživanom području

| Redni broj | Tretman pokusa |
|------------|--|
| I. | Kontrola – uzgoj kulture bez primjenjene organske ili mineralne gnojidbe |
| II. | N250 + P + K + 40 t/ha organskog krutog stajskog miješanog gnoja Do 2014. godine primjenjivan je dolomit i/ili CaCO ₃ i zeolitni tuf. Primjena ferdolomita ili dolomita ili zeolitnog tufa i CaCO ₃ u količini 3 t/ha (ili 1170 kg/3900 m ²) bila je provedena svake tri godine, također prije osnovne obrade tla. Od 2014. godine slijedi primjena 40 t/ha organskog krutog stajskog miješanog gnoja, koji je primjenjen i 2017. godine. Gnojidba fosforom i kalijem iznosila je 120 kg ha ⁻¹ za P i 180 kg ha ⁻¹ za K. |
| III. | N300 + P + K Gnojidba fosforom i kalijem iznosila je 120 kg ha ⁻¹ za P i 180 kg ha ⁻¹ za K. |
| IV. | Crni ugar - obrada bez sjetve Tretman s crnim ugarom uključuje sve zahvate obrade tla koji se provode na ostalim tretmanima pokusa, uključujući i zahvate dopunske obrade tla koji se provode u svrhu njege kultura. Primjena herbicida na tretmanu s crnim ugarom također je istovjetna s onom na ostalim tretmanima. |

3.3. Shema pokusa

Pokus je postavljen na način da se površina koju zauzima pojedini pokusni tretman dijeli u četiri ponavljanja - u četiri parcele. Veličina osnovne parcele za svaki tretman je 30 x 130 m (3 900 m²), uključujući međuprostore. Razmak između parcela, kao i između ponavljanja je 2 metra sa svake strane. Površina jedne pokusne parcele nakon prosijecanja je 676 m² (26x26 m). Gnoji se i sije ukupna površina svakog tretmana (3 900 m²), a prosijecanje 5 međuprostora vrši se nakon kretanja vegetacije pojedinog usjeva. Ukupna površina pokusa uključujući svih 10 tretmana je 39 000 m², a zajedno sa zaštitnim pojasom površina pokusa iznosi 44 800 m² (Slika 17).



* tretmani pokusa označeni crvenom bojom odabrani su i obrađeni za potrebe izrade doktorske disertacije

Slika 17. Shema pokusa (izvor: Marija Galić, 2023.)

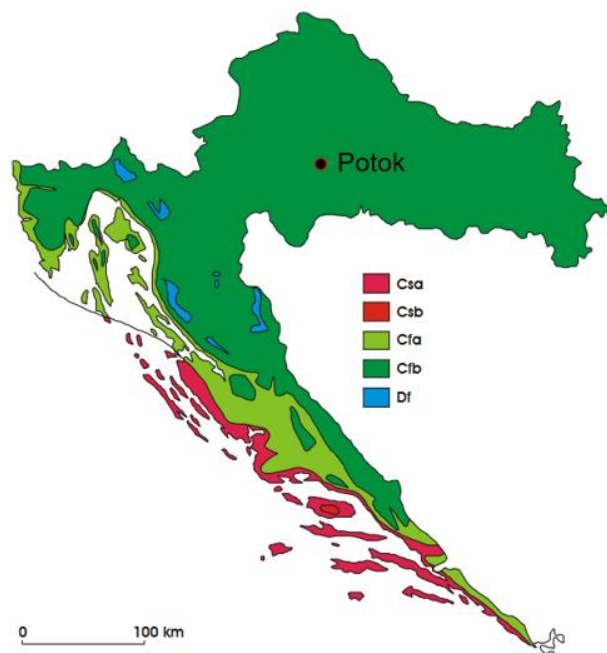
3.4. Klima istraživanog područja

Za opis i prikaz prosječnih klimatskih prilika istraživanog područja, korišteni su klimatski podaci glavne meteorološke postaje Sisak iz mreže Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) za referentno razdoblje 1991. – 2020. godine.

Prema autorima Gajić-Čapka i Zaninović (2008), klimu Hrvatske određuje njezin položaj u sjevernim umjerenim širinama i pripadni vremenski procesi velikih i srednjih razmjera. Klima istraživanog područja je umjerenom kontinentalna, a karakterizira ju vrlo promjenjivo

stanje atmosfere, što podrazumijeva raznolikost vremenskih situacija uz česte i intenzivne promjene tijekom godine.

Prema Köppenovoj klasifikaciji, klima istraživanog područja je Cfbw", karakteristična za nizinski kontinentalni dio Hrvatske (Penzar i Penzar, 2000). Prema spomenutim autorima, to je umjereno topla kišna klima, koja pokriva najveći dio Hrvatske. Karakteriziraju ju topla ljeta, bez izrazito suhih razdoblja, a mjesec s najmanje oborina u hladnom je dijelu godine (Slika 18).



Slika 18. Geografska raspodjela klimatskih tipova po W. Köppenu u Hrvatskoj u razdoblju 1961.-1990.: **Cfa**, umjereno topla vlažna klima s vrućim ljetom; **Cfb**, umjerena topla vlažna klima s toplim ljetom; **Csa**, sredozemna klima s vrućim ljetom; **Csb**, sredozemna klima s toplim ljetom; **Df**, vlažna borealna klima (izvor: Filipčić, 1998)

Prema Thornthwaitovoj podjeli klime, istraživano područje se svrstava u humidnu klimu, koja prevladava u najvećem dijelu Hrvatske.

3.4.1. Temperatura zraka

Temperatura zraka predstavlja jedan od najvažnijih klimatskih elemenata. Godišnji hod temperature zraka utječe na vegetacijski ciklus, te je uz oborinu, najvažnija za formiranje sustava biljne proizvodnje na nekom području. Prema podacima za 30-godišnje referentno

razdoblje (1991.-2020.) na području Siska srednja godišnja temperatura zraka iznosi 11,9 °C (Tablica 3).

Temperaturne prilike tijekom godine stalnije su u toplom dijelu (od travnja do listopada) nego u hladnom (od studenog do ožujka). To se vidi iz godišnjeg hoda temperaturne promjenjivosti, izražene pomoću vrijednosti standardne devijacije, koja je najmanja u srpnju, a najveća u siječnju i veljači (Tablica 3).

Apsolutne maksimalne temperature kretale su se od 21,4 °C u siječnju do 40,0 °C u kolovozu. Apsolutne minimalne temperature kretale su se od -21,1 °C u siječnju do 6,7 °C u srpnju. Negativnu apsolutnu minimalnu temperaturu imaju siječanj, veljača, ožujak, travanj, listopad, studeni i prosinac (Tablica 3).

Prema toplinskim oznakama klime (Gračanin, 1950) vrući mjeseci su lipanj, srpanj i kolovoz dok su travanj, svibanj i rujan topli. Listopad je umjereno topli, ožujak i studeni umjereno hladni, a siječanj, veljača i prosinac hladni. U prosjeku, najhladniji je siječanj, a najtopliji srpanj. Odstupanja od prosječnih vrijednosti mogu biti znatna, što pojedinih godina može presudno utjecati na visinu prinosa ratarskih kultura zbog štetnog utjecaja previsokih ili preniskih temperatura.

Tablica 3. Godišnje vrijednosti srednje temperature zraka (°C), pripadajuće standardne devijacije (sd), apsolutne maksimalne (T_{max}), apsolutne minimalne (T_{min}) temperature zraka za Sisak, 1991.-2020.

| 1991.-2020. | Mjeseci | | | | | | | | | | | | Godišnja vrijednost |
|-------------|-----------|-----------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|-----------|---------------------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | |
| t (°C) | 1,3 | 3,1 | 7,5 | 12,4 | 16,9 | 20,8 | 22,4 | 21,7 | 16,4 | 11,6 | 6,8 | 1,9 | 11,9 |
| sd | 2,4 | 2,9 | 1,8 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,0 | 1,5 | 1,4 | 1,5 | 2,2 | 2,0 | 0,7 |
| T_{max} | 21,4 | 23,5 | 26,0 | 31,1 | 34,3 | 36,6 | 39,1 | 40,0 | 35,0 | 28,3 | 24,7 | 22,4 | 40,0 |
| T_{min} | - 21,1 | - 20,0 | - 15,2 | -5,6 | 0,9 | 3,7 | 6,7 | 5,8 | 0,5 | -5,9 | - 10,5 | - 19,2 | -21,1 |

3.4.2. Oborine

Godišnji hod mjesečnih količina oborine na području Hrvatske može se podijeliti u dva tipa s obzirom na dio godine u kojem se nalazi mjesec s minimumom oborine: tip godišnjeg hoda u kojem najmanje oborine padne u toplom dijelu godine (travanj do rujana) i tip hoda u kojem najmanje oborine ima mjesec u hladnom polugodištu (listopad do ožujak) (Gajić-Čapka i Zaninović (2008). Područje istraživanja ima drugi, kontinentalni tip godišnjeg hoda oborine.

Prosječna godišnja količina oborine (1991. - 2020.) iznosi 958,8 mm (Tablica 4). Najveće mjesečne količine oborina javljaju se u prosjeku početkom ljeta (96,7 mm u svibnju) a sekundarni maksimum javlja se u jesen, u rujnu (109,7 mm). Zimski minimum oborine pada u

ožujku (55,5 mm), a jesenski u listopadu (86,4 mm). Prosječan raspored oborine vrlo je povoljan, ali pojedinih godina dolazi do znatnih odstupanja u distribuciji oborine tijekom pojedinih mjeseci.

U nizinskoj Hrvatskoj razdioba učestalosti sušnih razdoblja ukazuje da se sušna razdoblja podjednako javljaju tijekom cijele godine. U središnjoj Hrvatskoj takva sušna razdoblja mogu se očekivati najčešće u veljači kao i u rujnu, listopadu i studenom (po 10 % do 14 %). U nizinskoj Hrvatskoj najdulje sušno razdoblje od 69 dana zabilježeno je upravo u Sisku, a počelo je u prosincu 1988. godine.

Tablica 4. Godišnji hod količine oborine (R), pripadajuće standardne devijacije (sd), najmanjih (R_{min}) i najvećih (R_{max}) mjesečnih količina za Sisak, 1991.-2020.

| 1991 - 2020 | Mjeseci | | | | | | | | | | | | God. vrijed. |
|-------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | |
| R (mm) | 59,8 | 57,0 | 55,5 | 70,9 | 96,7 | 94,9 | 84,7 | 86,1 | 109,7 | 86,4 | 95,4 | 63,9 | 958,8 |
| sd | 33,2 | 36,3 | 30,6 | 40,9 | 57,0 | 43,1 | 40,7 | 50,8 | 58,8 | 46,1 | 44,3 | 38,1 | 170,9 |
| R_{min} | 11,5 | 4,5 | 5,1 | 6,5 | 25,8 | 34,5 | 25,7 | 15,1 | 25,4 | 9,0 | 1,5 | 1,8 | 554,9 |
| R_{max} | 147,4 | 138,8 | 136,9 | 184,9 | 247,0 | 178,6 | 171,4 | 201,7 | 249,9 | 199,1 | 184,2 | 136,4 | 1450,8 |

3.4.3. Tlak zraka

Iako tlak zraka ima najmanji izravni utjecaj na biljni i životinjski svijet od svih meteoroloških elemenata, njegova je važnost velika jer je on neposredno povezan sa zračnim strujanjem, a samim time i sa mnogim drugim vremenskim zbivanjima (Penzar i Penzar, 2000). Godišnji prosjek tlaka zraka u referentnom periodu iznosi 1004,8 hPa (Tablica 5). Tijekom godine možemo uočiti kako je tlak u prosjeku viši u kasnim jesenskim i zimskim mjesecima nego u ljetnom razdoblju.

Tablica 5. Godišnji hod srednjeg tlaka zraka (p) i pripadajuće standardne devijacije (sd) za Sisak, 1991.-2020.

| Tlak zraka | | | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|
| Mjes. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | God. vrij. |
| P (hPa) | 1007, 9 | 1006, 2 | 1004, 6 | 1002, 2 | 1002, 7 | 1003, 1 | 1002, 8 | 1003, 4 | 1004, 8 | 1006, 3 | 1005, 8 | 1007, 9 | 1004, 8 |
| sd | 4,6 | 4,4 | 4,3 | 2,7 | 1,9 | 1,8 | 1,5 | 1,5 | 2,1 | 2,7 | 4,0 | 5,1 | 1,1 |

3.4.4. Relativna vlažnost zraka

Relativna vlažnost zraka (U %) kao omjer stvarnog i maksimalnog tlaka vodene pare pri postojećoj temperaturi, ukazuje na stupanj zasićenosti zraka vodenom parom. Dijelovi Međimurja, Posavine, te Turopolje i Lonjsko polje, uz rijeke kao stalni izvor vodene pare, imaju nešto veću relativnu vlažnost (80–85%).

Srednje mjesečne vrijednosti relativne vlažnosti zraka u referentnom periodu kreću se od 69 % u travnju, lipnju i srpnju do 87 % u prosincu, što bi u klimatskom smislu značilo da je područje pokusa bogato vlagom u zraku tijekom cijele godine (Tablica 6).

Tablica 6. Godišnji hod srednje relativne vlažnosti zraka i pripadajuće standardne devijacije (sd) za Sisak, 1991.-2020.

| Relativna vlažnost zraka | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------------|
| Mjeseci | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | G.vrijednost |
| U(%) | 84 | 78 | 70 | 69 | 70 | 69 | 69 | 72 | 79 | 82 | 85 | 87 | 76 |
| sd | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 6 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 |

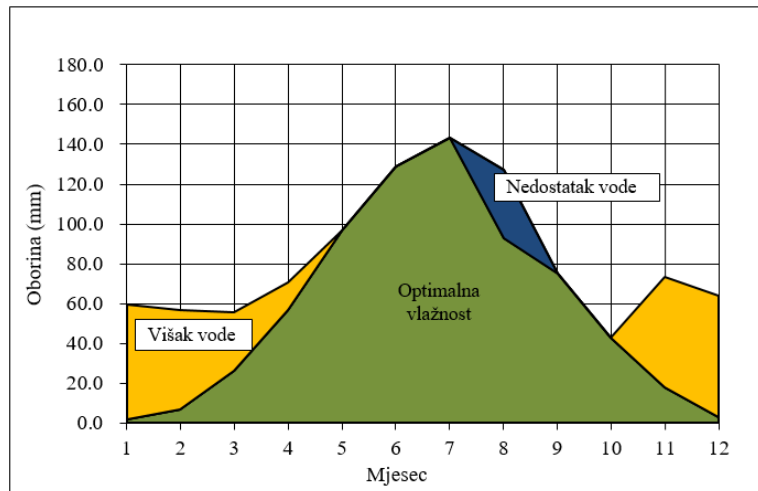
3.4.5. Bilanca vode u tlu

Bilanciranje vode u tlu provedeno je prema metodi Thornthwaitea, a određene su potencijalna i stvarna evapotranspiracija, te manjak i višak vode (Tablica 7, slika 19). Prema prosječnim vrijednostima za razdoblje 1991. - 2020. g. stvarna evapotranspiracija iznosi 693,8 mm godišnje, a manjak vode javlja se u kolovozu, u ukupnom iznosu od 34,0 mm. Višak vode javlja se najvećim dijelom tijekom zimskih mjeseci te početkom proljeća zaključno s travnjem, a iznosi ukupno 267,2 mm.

Tablica 7. Bilanca vode u tlu prema metodi Thornthwaitea, Sisak, 1991.-2020.

| Mjesec | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Suma |
|-------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|--------------|
| Oborina(mm) | 59,8 | 57,0 | 55,5 | 70,9 | 96,7 | 94,9 | 84,7 | 86,1 | 109,7 | 86,4 | 95,4 | 63,9 | 958,8 |
| t (°C) | 1,3 | 3,1 | 7,5 | 12,4 | 16,9 | 20,8 | 22,4 | 21,7 | 16,4 | 11,6 | 6,8 | 1,9 | 11,9 |
| pet.kor(mm) | 2,1 | 6,6 | 26,5 | 56,6 | 96,9 | 129,1 | 143,3 | 127,1 | 75,1 | 43,2 | 18,1 | 3,2 | 727,8 |
| R(mm) | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 99,8 | 65,6 | 7,0 | 0,0 | 34,6 | 77,8 | 100,0 | 100,0 | 884,7 |
| set(mm) | 2,1 | 6,6 | 26,5 | 56,6 | 96,9 | 129,1 | 143,3 | 93,1 | 75,1 | 43,2 | 18,1 | 3,2 | 693,8 |
| m(mm) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 34,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 34,0 |
| v(mm) | 57,7 | 50,4 | 29,0 | 14,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 55,1 | 60,7 | 267,2 |

Oznake: pet.kor. = potencijalna korigirana evapotranspiracija; R = Rezerva vode u tlu; set = stvarna evapotranspiracija; m = manjak vode u tlu; v = višak vode u tlu

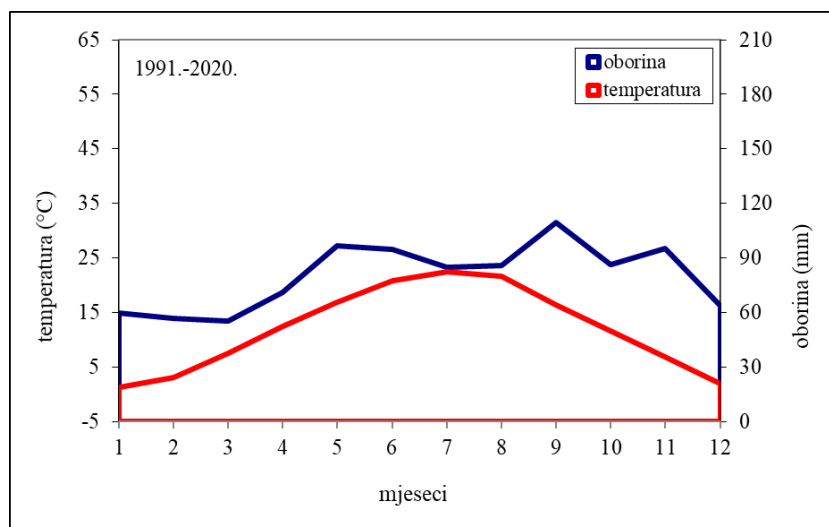


Slika 19. Bilanca vode u tlu prema metodi Thornthwaitea za Sisak, 1991.-2020.

3.4.6. Klimatski dijagram prema Walteru

Za pregledni prikaz godišnjeg hoda temperature zraka i količine oborine može se upotrijebiti Walterov klimatski dijagram. On, među ostalim, pokazuje međusobni odnos srednje mjesečne temperature zraka i količine oborine na temelju dugogodišnjeg niza mjerenja.

Prosječne vrijednosti sume oborine i srednjih mjesečnih temperatura po mjesecima prikazane su na klimadijagramu za višegodišnji prosjek 1991. – 2020. (Slika 20). Na temelju hoda krivulje oborine i temperatura može se zaključiti da, premda se krivulja oborine približava krivulji temperature u srpnju, u prosjeku nema sušnog razdoblja.



Slika 20. Prikaz godišnjeg hoda temperature zraka i količine oborine pomoću Walterovog klimatskog dijagrama, Sisak, 1961.-1990.

3.5. Test kulture u istraživanju

U istraživanju, test kulture bile su pšenica (*Triticum aestivum* L.) u vegetacijskoj godini 2016., kukuruz (*Zea mays* L.) u vegetacijskoj godini 2017. i soja (*Glycine max* L.) u vegetacijskoj godini 2018. Agrotehnika je u cijelosti bila standardna za pojedinu kulturu. Na svim pokusnim parcelama agrotehnički zahvati, osim gnojidbe, provedeni su po načelima konvencionalne poljoprivrede.

3.5.1. Pšenica (*Triticum aestivum* L.)

U prvoj godini istraživanja, na pokusnom polju zasijana je pšenica (*Triticum aestivum* L.), hibrid Srpanjka. Nakon žetve kukuruza, dana 10. i 11.11.2015. provedena je osnovna obrada tla i priprema tla za sjetvu (oranje na 25 – 30 cm dubine i tanjuranje), te osnovna gnojidba za ozimu pšenicu prema metodici istraživanja (30 % N + 100 % K i 100 % P). Sjetva ozime pšenice provedena je 12. studenog 2015. godine. Za sjetvu je korištena sorta Srpanjka u količini od 305 kg/ha sjemena. 20.03.2016. provedena je i zaštita protiv korova herbicidom Alister u količini od 0,8 L/ha. Zaštita usjeva od štetnika i bolesti provedena je dva puta tijekom vegetacije: prvo fungicidno tretiranje sredstvom Duett Ultra u količini od 0,5 L/ha dana 21.04.2016. i drugo fungicidno tretiranje sredstvom Prosaro (1 L/ha) 17.05.2016. Prihranjivanje dušikom provedeno je u dva obroka, prvo u količini od 25 % dušika (11.03.2016.) i drugo u količini od 45 % (25 % + 20 %) dušika (04.04.2016.), koristeći KAN. Žetva ozime pšenice provedena je 09.07.2016. Uzgajana kultura u različitim stadijima rasta prikazana je na slici 21.



Slika 21. Ozima pšenica u različitim stadijima rasta, 2016. godina (foto: M. Galić; D. Bilandžija)

3.5.2. Kukuruz (*Zea mays* L.)

U drugoj godini istraživanja, na pokusnom polju zasijan je kukuruz (*Zea mays* L.), hibrid P 0412 Pioneer. Osnovna obrada tla, priprema tla za sjetvu (oranje na 25 – 30 cm dubine i tanjuranje), te osnovna gnojidba, kao i obje prihrane za kukuruz prema metodici istraživanja provedene su 12. travnja 2017. Gnojidba za kukuruz iznosila je za N utvrđenu količinu za pojedini tretman pokusa, a za P i K određena je doza od 600 kg NPK 7-20-30, što iznosi 42 kg dušika, 120 kg fosfora i 180 kg kalija. Od ove količine kompleksnog mineralnog gnojiva 1/2 se primjenila pri osnovnoj obradi tla u jesen, a preostala 1/2 u predsjetvenoj pripremi tla. Od ukupne količine dušika, 60 % unjelo se u tlo prije sjetve, dok se preostalih 40 % koristilo za dva prihranjivanja, svako s 20 % ukupne količine dušika. Razlika dušika unosila se u tlo u predsjetvenoj pripremi tla u obliku ureje. Sjetva kukuruza također je provedena 12. travnja 2017. godine. U svibnju 2017. (08.05.2017.) provedena je i zaštita protiv korova herbicidom Adengo u količini od 0,44 L/ha. Berba kukuruza provedena je 15.09.2017., a maličiranje pokusne površine 29.10.2017. Jesensko oranje pokusne površine kao i gnojidbe stajskim gnojem dva pokusna tretmana (VII i VIII) provedeno je u razdoblju od 31.10.2017. - 03.11.2017. Uzgajana kultura u različitim stadijima rasta prikazana je na slici 22.



Slika 22. Kukuruz u različitim stadijima rasta, 2017. godina (foto: M. Galić)

3.5.3. Soja (*Glycine max* L.)

U trećoj godini istraživanja, na pokusnom polju zasijana je soja (*Glycine max* L.), sorta Tena. Osnovna gnojidba pokusne površine provedena je 26.09.2017. Gnojidba za soju iznosila je za N utvrđenu količinu za pojedini tretman pokusa, a za P i K određena je doza od 600 kg NPK 7-20-30, što iznosi 42 kg dušika, 120 kg fosfora i 180 kg kalija. Od ove količine kompleksnog mineralnog gnojiva, 1/2 se primjenjivala pri osnovnoj obradi tla u jesen, a preostala 1/2 u predsjetvenoj pripremi tla. Od ukupne količine dušika, 60 % unosilo se u tlo prije sjetve, dok se preostalih 40 % koristilo za dva prihranjivanja, svako s 20 % ukupne količine dušika. Razlika dušika unosila se u tlo u predsjetvenoj pripremi tla u obliku ureje. Malčiranje pokusne površine provedeno je 29.10.2017., dok je jesensko oranje uz gnojidbu krutim stajskim gnojem na VII i VIII pokusnom tretmanu provedeno u razdoblju od 31.10.2017. do 03.11.2017. Zatvaranju zimske brazde pristupilo se 27.04.2018. nakon provedene sjetve i startne gnojidbe ureom isti dan. U svibnju 2018. godine u tri navrata provedena je zaštita usjeva: 02.05.2018. primjenom kombinacije Sencora (0,55 L/ha) i Dual Golda (1L/ha), zatim 20.05.2018. kombinacijom Lagune (50 g/ha) i Trenda (0,15 L/ha) te 30.05.2018. kada su također aplicirana dva zaštitna sredstva i to Corum (0,9 L/ha) te Dash (0,2 L/ha). Prihrana usjeva obavljena je 02.06.2018. Žetva soje provedena je 26.09.2018. Uzgajana kultura u različitim stadijima rasta prikazana je na slici 23.



Slika 23. Soja u različitim stadijima rasta, 2018. godina (foto: M. Galić)

3.5.4. Uzorkovanje i analiza biljnog materijala

Prinos kultura određivao se izravno na pokusnom polju gravimetrijskom metodom. Osnovna površina na kojoj se mjerila masa prinosa uključivala je širinu zahvata kombajna i dužinu parcele. Masa po navedenoj površini projicirala se u t/ha. Sadržaj vlage (%) određivao se mjerenjem mase zrna prije i nakon sušenja (do konstantne mase, na 70 °C). Na temelju početne i konačne težine, sadržaj vlage se izračunao kao postotak. Apsolutna masa zrna (g) određivala se vaganjem mase 100 zrna u četiri ponavljanja. Hektolitarska masa (g) određena je pomoću Schopper-ove vage.

Na kraju vegetacije svake kulture, prilikom žetve ili berbe, uzimani su prosječni uzorci biljnog materijala na svakom tretmanu u četiri ponavljanja, za potrebe određivanja ukupnog ugljika i dušika. Uzorkovanje prosječnih uzoraka biljnog materijala ozime pšenice provedeno je 09.07.2016., kukuruza 15.09.2017. godine, a soje 26.09.2018. godine.

U analitičkom laboratoriju Zavoda za opću proizvodnju bilja Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu provedeno je određivanje sadržaja ukupnog ugljika i dušika u prosječnim uzorcima biljnog materijala zrna. Sadržaj ukupnog ugljika i dušika u biljnom materijalu određen je simultano, metodom suhog spaljivanja. Postupak se bazira na spaljivanju uzorka u struji kisika na 1150°C uz prisutnost volframovog (VI) oksida kao katalizatora. Prilikom spaljivanja oslobađaju se: NO_x, CO₂, SO₃ i H₂O plinovi (Jurišić, 2012). Priprema uzoraka biljnog materijala provedena je tako da su se uzorci sušili u sušioniku na 60 °C do konstantne mase. Nakon sušenja, uzorci su samljeveni (IKA-Werke M 20) i prosijani kroz sito Ø 200 µm. Nakon homogenizacije uzorka, izvagani su (Sartorius CP64; d=0,1 mg) u kositrene folijice (50 mg ± 2 mg) koje su zatim dobro zatvorene, istisnut je zrak te su ručno oblikovane u tablete i posložene u autosampler Vario, Macro CHNS analizatora - Elementar, 2006 (Slika 24). Sadržaj ukupnog ugljika određen je prema protokolu norme HRN ISO 10694:2004, dok je sadržaj ukupnog dušika određen prema protokolu norme HRN ISO 13878:2004.

Sadržaj proteina u zrnju istraživanih kultura (%) proračunat je množenjem utvrđenog sadržaja ukupnog dušika (%) u pojedinoj kulturi sa predloženim faktorom za konverziju dušika u proteine. Konverzijski faktori iznosili su 5,83 za pšenicu, 6,25 za kukuruz te 5,71 za soju (Jones, 1941).



Slika 24. Proces pripreme biljnog materijala za određivanje ukupnog ugljika i dušika (s lijeva na desno: sušenje; mljevenje; prosijavanje i homogeniziranje; vaganje i oblikovanje; tijekom analize u Vario, Macro CHNS analizatoru) (foto: M. Galić; I. Hrelja)

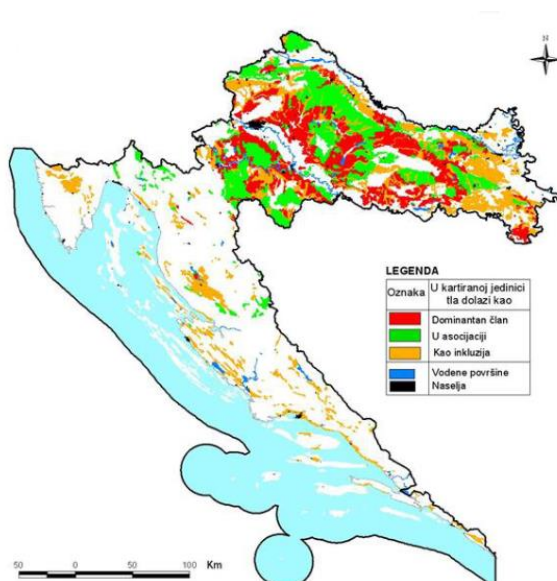
3.6. Svojstva tla

Tip tla na pokusnoj površini je drenirani pseudoglej, ravničarski, duboki, distrični (Škorić, 1990), ili distric Stagnosols (FAO, WRB, 2006) ili dolinski, duboki, distrični Pseudoglej (Husnjak, 2014). Pseudoglej kao tip tla zauzima čak 9,87 % površine u Hrvatskoj, od čega se 55 % pseudogleja koristi u poljoprivredi, dok je preostali dio pod prirodnom šumskom vegetacijom. On nastaje uglavnom na području humidne klime, odnosno u klimatskim uvjetima u kojima se pojavljuje višak oborinske vode u odnosu na potrebe evapotranspiracije (Husnjak, 2014.). Stoga, pseudoglej spada u odjel hidromorfni tala, a hidromorfizam je rezultat prekomjernog navlaživanja površinskih dijelova soluma stagnirajućom površinskom vodom. Na slici 25 prikazana je stratigrafija profila te pokusna površina. Suvišno vlaženje prisutno je u gornjem dijelu profila i to od oborinske vode, a podzemna voda se javlja ispod 175 cm dubine. Oborinska voda stagnira povremeno na teksturno težem - iluvijalnom horizontu formiranom u procesu lesivaže (Mesić i sur., 2013).



Slika 25. Pseudoglej, ravničarski, distrični (foto: M. Mesić); Pokusna površina u siječnju 2018. godine (foto: M. Galić)

Prema Husnjaku (2014), brojna su ograničenja koja obilježavaju pseudoglej kao tip tla (Slika 26). Tu možemo navesti stagniranje oborinske vode, praškastu i nestabilnu strukturu u površinskim horizontima, nepovoljne vodozračne odnose, kiselu reakciju tla, nisku biološku aktivnost itd. Upravo iz tih razloga, pseudoglej spada u skupinu ograničeno pogodnih tala za intenzivniju poljoprivrednu proizvodnju, odnosno u skupinu tala s niskim proizvodnim potencijalom. Međutim, korekcijom nepovoljnih svojstava prirodnog pseudogleja te primjenom intenzivnih melioracija moguće je povećati njegovu plodnost i proizvodni potencijal (Škorić, 1990).



Slika 26. Rasprostranjenost pseudogleja u Hrvatskoj (izvor: Husnjak, 2014.)

S obzirom da se gore spomenute mjere uređenja zemljišta u svrhu povećanja plodnosti i proizvodnog potencijala vrlo često provode, treba napomenuti da se intenzivnim korištenjem pseudogleja potenciraju daljnji procesi zakiseljavanja tla te ispiranja čestica gline, što dovodi do pogoršanja već spomenutih loših karakteristika, stoga je potrebno voditi računa o mogućnostima daljnjeg oštećenja spomenutog tla te ga koristiti na održivi način.

3.6.1. Fizikalno-kemijska svojstva pseudogleja na istraživanoj lokaciji

Fizikalna i kemijska svojstva tla istraživane lokacije po horizontima prikazana su u tablicama 8, 9, 10 i 11.

Fizikalna svojstva

Tablica 8 prikazuje stabilnost mikroagregata. Oni su malo stabilni u oraničnom, vrlo malo stabilni u eluvijalnom, a stabilni u iluvijalnom i dubljim horizontima.

Tablica 8. Stabilnost mikroagregata

| Genetski horizont | | Stupanj stabilnosti mikroagregata | Ocjena stabilnosti |
|-------------------|-------------|-----------------------------------|--------------------|
| Oznaka | Dubina (cm) | | |
| P | 0-31 | 31,22 | malo stabilni |
| Eg | 32-52 | 26,88 | vrlo malo stabilni |
| Bg | 52-97 | 71,87 | stabilni |
| Cg ₁ | 97-116 | 73,11 | stabilni |
| Cg ₂ | >116 | 58,27 | dosta stabilni |

Izvor: Mesić i sur., 2013.

Tablica 9 prikazuje mehanički sastav tla, određen prema Škoriću (1982). Tlo je u P i Eg horizontu ilovača, u Bg horizontu pjeskovito glinasta ilovača. U iluvijalnom horizontu količina gline je povećana zbog njezina nakupljanja u procesu lesivaže. Na većoj dubini sadržaj gline se smanjuje, tako da je riječ o pjeskovitoj ilovači.

Tablica 9. Mehanički sastav tla

| Genetski horizont | | % čestica tla u Na pirofosfatu, ϕ mm | | | Teksturna oznaka (Škorić, 1982) |
|-------------------|-------------|---|-------------------------|----------------|---------------------------------|
| Oznaka | Dubina (cm) | Krupni i sitni pijesak (2-0,02) | Sitni prah (0,02-0,002) | Glina (<0,002) | |
| P | 0-31 | 48,70 | 30,80 | 20,50 | ilovača |
| Eg | 32-52 | 45,35 | 31,40 | 23,25 | ilovača |
| Bg | 52-97 | 51,15 | 24,50 | 24,35 | pjeskovito glinasta ilovača |
| Cg ₁ | 97-116 | 59,50 | 21,35 | 19,15 | pjeskovita ilovača |
| Cg ₂ | >116 | 81,90 | 5,40 | 12,70 | pjeskovita ilovača |

Izvor: Mesić i sur., 2013.

Tablica 10 prikazuje specifične težine tla, porozitet, kapacitet za vodu i kapacitet za zrak. Specifična težina, volumna i prava, određena prema protokolu norme HRN ISO 11272:2004 (Stv) i HRN ISO 11508:2004 (Stp) kreću se u granicama karakterističnim za ovaj tip tla. Tlo je malo porozno po cijeloj dubini (HRN ISO 11272:2004), s osrednjim kapacitetom za vodu (HRN ISO 11508:2004). Kapacitet za zrak (ISO 16586:2003) je vrlo mali. Zbijenost je srednja u oraničnom i eluvijalnom, a visoka u dubljim horizontima.

Tablica 10. Specifične težine tla, porozitet, kapacitet za vodu i kapacitet za zrak

| Genetski horizont | | Specifične težine | | | Porozitet | Kapacitet za vodu | | Kapacitet za zrak | |
|-------------------|-------------|--------------------------|--------------------------|--------|--------------|-------------------|----------|-------------------|-----------|
| Oznaka | Dubina (cm) | Stv (g cm ³) | Stp (g cm ³) | Vol. % | Ocjena | Vol. % | Ocjena | Vol. % | Ocjena |
| P | 0-31 | 1,54 | 2,74 | 43,72 | malo porozno | 39,69 | osrednji | 4,03 | vrlo mali |
| Eg | 32-52 | 1,65 | 2,74 | 39,97 | malo porozno | 39,20 | osrednji | 0,77 | vrlo mali |
| Bg | 52-97 | 1,58 | 2,77 | 43,05 | malo porozno | 41,19 | osrednji | 1,56 | vrlo mali |
| Cg ₁ | 97-116 | 1,57 | 2,74 | 42,89 | malo porozno | 37,77 | osrednji | 5,12 | mali |
| Cg ₂ | >116 | 1,52 | 2,74 | 44,42 | malo porozno | 43,45 | osrednji | 0,98 | vrlo mali |

Izvor: Mesić i sur., 2013.

Kemijska svojstva

Tablica 11 prikazuje glavne pokazatelje kemijskog stanja tla. Reakcija tla je kisela u površinskom i podpovršinskom horizontu, a sa dubinom raste. Tlo je slabo humusno, odnosno na granici vrlo slabe i slabe humoznosti. Opskrbljenost fosforom u oraničnom horizontu je dobra, a kalijem umjerena. U podoraničnom horizontu tlo je slabo opskrbljeno fiziološki aktivnim fosforom i kalijem. Dublje u profilu javljaju se slobodni karbonati koji su isprani iz gornjih horizonata.

Tablica 11. Kemijska svojstva tla

| Genetski horizont | | pH (1:2,5) modificirana HRN ISO 10390:2004 | | Humus modificirana HRN ISO 14325:1998 | Sadržaj hraniva AL metoda | | CaCO ₃ Volumetrijska metoda |
|-------------------|-------------|--|--------|--|--|---------------------------------------|--|
| Oznaka | Dubina (cm) | H ₂ O | 1M KCl | (%) | P ₂ O ₅ (mg/100 g tla) | K ₂ O (mg/100 g tla) | (%) |
| P | 0-31 | 5,74 | 4,84 | 1,01 | 17,72 | 10,45 | - |
| Eg | 32-52 | 6,76 | 5,12 | 0,91 | 5,20 | 7,15 | - |
| Bg | 52-97 | 7,57 | 6,02 | 0,35 | 7,68 | 6,43 | 0,62 |
| Cg ₁ | 97-116 | 8,20 | 7,41 | 0,22 | 7,64 | 4,95 | 2,08 |
| Cg ₂ | >116 | 8,04 | 7,18 | 0,13 | 2,88 | 3,90 | 0,83 |

Izvor: Mesić i sur., 2013.

3.6.2. Uzorkovanje i analiza tla za potrebe određivanja kemijskih parametara

Uzorkovanje tla za potrebe određivanja njegovih kemijskih svojstava provelo se tijekom prve vegetacijske godine (06.04.2016.) na sva četiri tretmana u oraničnom horizontu (0-30 cm) kao prosječni uzorak. Uzorkovanje tla također se provelo i u trećoj vegetacijskoj godini (27.04.2018.) na sva četiri tretmana u oraničnom horizontu (0-30 cm) kao prosječni uzorak (Slika 27).



Slika 27. Uzorkovanje tla pedološkom sondom (foto: M. Galić)

Priprema uzoraka tla provedena je prema normi HRN ISO 11464:2009. Uzorci tla za kemijske analize tla zrakосуho su se sušili u stakleniku Zavoda za Opću proizvodnju bilja Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, u čijem su analitičkom laboratoriju provedene i potrebne analize tla. Nakon sušenja, uzorci su samljeveni i prosijani kroz sito \varnothing 2 mm i homogenizirani, a dio je arhiviran (Slika 28).



Slika 28. Sušenje, mljevenje, prosijavanje i arhiviranje uzoraka tla (foto: Ž. Zgorelec; M. Galić)

Reakcija tla određena je potenciometrijskim mjerenjem u suspenziji tla i ekstrakcijskog sredstva (1 M KCl) u omjeru 1:2,5 prema modificiranoj HRN ISO 10390:2004 normi. Očitavanje vrijednosti pH provodilo se uz pomoć $\Phi 72$ pH metra (Beckman) i Blue Line 17 elektrode (Schoot Instruments) (Slika 29). Biljci pristupačni fosfor i kalij ekstrahirani su otopinom amonij-laktat-octene kiseline (AL metoda). Biljci pristupačni fosfor određen je kolorimetrijskom metodom upotrebom DR/2000 HAC spektrofotometra (Slika 29), dok je sadržaj biljci pristupačnog kalija određen metodom plamene fotometrije uz pomoć Jenway PFP 7 plamenog fotometra (Slika 29). Sadržaj humusa određen je titrimetrijski, metodom po Tjurinu (bikromatna metoda) prema modificiranoj ISO 14325:1998 metodi. Elektrovodljivost ($\mu\text{S cm}^{-1}$) određena je prema protokolu HRN ISO 11265:1994.



Slika 29. pH metar, spektrofotometar, plamenfotometar i određivanje sadržaja humusa (foto: M. Galić)

Određivanje sadržaja ukupnog ugljika i dušika

Za potrebe uvida u početno nultto stanje sadržaja ukupnog C i N u tlu odredile su se njihove prosječne vrijednosti izmjerene od 2011.-2014. godine za svaki tretman pokusa na dubini 0-30 cm. Kako je već navedeno, uzorkovanje tla provelo se tijekom prve vegetacijske godine (2016.) te zatim u trećoj vegetacijskoj godini (2018.), za usporedbu s početnim stanjem ukupnog C i N.

Određivanje sadržaja ukupnog ugljika i dušika u tlu provedeno je simultano, metodom suhog spaljivanja na Vario, Macro CHNS analizatoru (Elementar, 2006) prema protokolu HRN ISO 10694:2004 za sadržaj ukupnog ugljika (100 ± 2 mg tla) te HRN ISO 13878:1998 za sadržaj ukupnog dušika (100 ± 2 mg tla).

3.6.3. Izračun bilance ugljika

U ovom istraživanju, procjena ravnoteže ugljika u tlu (bilanca ugljika) usmjerena je na specifične aspekte, uključujući početno stanje ugljika u tlu, gubitke kroz emisiju i uklanjanje kroz žetvu kako bi se prikazala neto promjena sadržaja ugljika u tlu, uzimajući u obzir gubitke

i uklanjanje kao primarne čimbenike koji utječu na promatranu dinamiku ugljika tijekom navedenog razdoblja.

Bilanca ugljika odnosila se na razliku sadržaja ugljika u tlu (spremnik) i odliva ugljika prinosom ratarskih kultura i emisijom u atmosferu. Vrijednosti ugljika uzete za proračun (sadržaj C u tlu od 0-30 cm) odnose se na rezultate istraživanja u 2016. godini (početnom vremenskom periodu istraživanja) i 2018. godini (konačnom vremenskom periodu istraživanja). Sadržaj ugljika u tlu (t C/ha) do 30 cm dubine izračunat je s obzirom na utvrđeni sadržaj ugljika u tlu (%), gustoću tla ($1,4 \text{ t/m}^3$), volumen tla ($100 \text{ m} * 100 \text{ m} * 0,30 \text{ m} = 3000 \text{ m}^3$), kao i masu tla na jednom hektaru (4200 t). Gubitak ugljika emisijama iz tla ($\text{t ha}^{-1} \text{ god}$) podrazumijeva količinu ugljika izgublenu emisijama iz tla, a odnosi se na prosječnu vrijednost emisije za cijeli period u pojedinoj godini istraživanja * 365 dana u godini/1000. Odliv ugljika prinosom, odnošenje prinosom, odnosno gubitak ugljika putem žetve ratarskih kultura odnosio se na količinu ugljika uklonjenog iz agroekosustava nakon uklanjanja usjeva u 2016., 2017. i 2018. godini. Odnešena količina ugljika odnosila se na umnožak utvrđenog ugljika u zrnu pojedine ratarske kulture i ostvarenom odnosno utvrđenom prinosu.

3.6.4. Uzorkovanje i analiza tla za potrebe određivanja mikrobioloških parametara

Uzorkovanje tla za potrebe određivanja njegovih mikrobioloških parametara provelo se dva puta tijekom prve vegetacijske godine (06.04.2016. i 23.06.2016.) na sva četiri tretmana u oraničnom horizontu (0-30 cm) kao prosječni uzorak. Uzorci za mikrobiološke analize nisu posebno pripremani već su se analizirali odmah nakon uzorkovanja u prirodnom stanju vlažnosti tla.

Sadržaj vlage i suhe tvari tla odrađen je prema protokolu norme HRN ISO 11465:2004. Ukupan broj gljiva, ukupan broj bakterija te broj amonifikatora određen je dilucionom metodom odnosno metodom uzgoja mikroorganizama na selektivnim hranjivim pločama (Pochon, 1954). Celulolitičke bakterije i gljive određene su metodom fertilnih zrnaca na siliko-gelu uz dodatak odgovarajućih hranjivih mineralnih otopina (Pochon, 1954). Enzimatska aktivnost dehidrogenaza određena je metodom temeljenoj na razgradnji trifeniltetrazolium klorida (ISO/DIS 23753-1:2005).

3.7. Emisija ugljikovog dioksida iz tla

3.7.1. Mjerenje koncentracije ugljikovog dioksida iz tla

Mjerenja koncentracija ugljikovog dioksida na površini tla provedena su temeljem statičke metode s komorama. Mjerenja su se provodila jednom mjesečno tijekom tri vegetacijske godine na svakom tretmanu pokusa u tri ponavljanja, osim u ponekim zimskim mjesecima gdje zbog vremenskih neprilika mjerenje nije bilo moguće provesti (smrznuto tlo, snježni pokrivač, velika količina vode, itd.) (Slika 30).



Slika 30. Mjerenja emisija ugljikovog dioksida iz tla kroz sva 4 godišnja doba (foto: M. Galić; I. Hrelja)

Komore su izrađene u sklopu projekta „Utjecaj različitih načina korištenja tla na klimatske promjene” (u vlastitoj izradi Zgorelec i Tukač, 2011). Napravljene su od materijala koji ne propušta sunčevu svjetlost. Koncentracija ugljikovog dioksida iz tla mjerena je prenosivim infracrvenim detektorom ugljikovog dioksida GasAlerMicro5 IR (2011. god.) kako bi se utvrdila akumulacija ugljikovog dioksida u zatvorenim komorama (Slika 31).



Slika 31. GasAlerMicro5 IR detektor i komore (foto: M. Galić)

Postupak terenskog mjerenja koncentracije CO₂ iz tla proveden je umetanjem kružnih okvira komore (promjera 25 cm) u tlo na dubinu od 5 cm te mjerenjem inicijalne koncentracije CO₂ na površini tla unutar kružnih okvira. Okviri su se postavljali na golo tlo, a vegetacija iz unutrašnjosti okvira uklanjala ukoliko je to bilo potrebno. Potom su se na kružne okvire postavljali poklopci komora koji sadrže priključni ventil za detektor ugljikovog dioksida. Poklopci su se zatim zabrtvili vodom kako bi se spriječila mogućnost ulaska zraka. Od trenutka postavljanja poklopaca, odnosno zatvaranja komora, vrijeme inkubacije iznosilo je 30 minuta. Nakon 30 minuta, spomenutim detektorom mjerila se koncentracija akumuliranog CO₂ u zatvorenim komorama (Slika 32).



Slika 32. Postupak mjerenja koncentracije ugljikovog dioksida iz tla (foto: M. Galić, I. Hrelja)

3.7.2. Proračun emisije ugljikovog dioksida iz tla

Proračun emisije odnosno fluksa ugljikovog dioksida iz tla (kg ha⁻¹ dan⁻¹) proveden je prema autorima Widen i Lindroth (2003) te Toth i suradnici (2005) temeljem sljedeće jednadžbe koja je dobivena kombinirajući prvi Fickov zakon difuzije i jednadžbe stanja idealnog plina:

$$F_{CO_2} = [M \times p \times V \times (c_2 - c_1)] / [R \times T \times A \times (t_2 - t_1)]$$

Gdje je:

F_{CO_2} – fluks CO_2 iz tla ($kg\ ha^{-1}\ dan^{-1}$)

M – molarna masa CO_2 ($kg\ mol^{-1}$) = 0,044 $kg\ mol^{-1}$

p – tlak zraka (Pa)

V – volumen komore (m^3) = 0,002955 m^3

c_1 – koncentracija CO_2 na početku mjerenja ($\mu mol\ mol^{-1}$)

c_2 – koncentracija CO_2 na kraju mjerenja ($\mu mol\ mol^{-1}$)

R – plinska konstanta ($J\ mol^{-1}\ K^{-1}$) = 8,314 $J\ mol^{-1}\ K^{-1}$

T – temperatura zraka (K)

A – površina komore (m^2) = 0,0314 m^2

$t^2 - t^1$ – vrijeme inkubacije (dan) = 30 minuta = 0,0208 dan

3.8. Agroekološki čimbenici

Oborina i temperatura zraka utječu na sadržaj vlage u tlu i temperaturu tla, koje naposljetku indirektno utječu na emisiju ugljikovog dioksida iz tla. Samim time, potrebni su pouzdani podaci o agroekološkim uvjetima, posebice o temperaturi, tlaku i relativnoj vlažnosti zraka te temperaturi i sadržaju vlage u tlu.

3.8.1. Mjerenje temperature zraka, tlaka zraka i relativne vlažnosti zraka

Prilikom svakog dolaska i odlaska s pokusnog polja mjerila se temperatura zraka, relativna vlažnost zraka te tlak zraka. Navedeni parametri mjerili su se u tri ponavljanja, a njihova srednja vrijednost predstavlja vrijednost temperature i relativne vlažnosti zraka tijekom mjerenja emisije ugljikovog dioksida iz tla. Temperatura i relativna vlažnost zraka mjerili su se pomoću odgovarajućeg uređaja (Testo 610, 2011, slika 33), a tlak zraka pomoću (Testo 511, 2011) na visini od otprilike 0,5 metara iznad površine tla (Slika 33).



Slika 33. Uređaj Testo 610 (relativna vlažnost zraka (%) + temperatura (°C) i uređaj Testo 511 (p/hPa) (foto: M. Galić)

3.8.2. Mjerenje temperature

Temperatura (°C), elektrovodljivost (dS/m) i sadržaj vlage u tlu (%) mjerili su se pomoću instrumenta IMKO HD2 (sonda Trime – Pico64, 2011) na dubini od 10 cm. Mjerenja su se provodila u neposrednoj blizini svake komore, prilikom svakog mjerenja koncentracije CO₂ (Slika 34).



Slika 34. IMKO HD2 i sonda Trime – Pico64 (foto: M. Galić)

3.9. Statistička obrada podataka

Za statističku obradu dobivenih podataka koristila se GLM procedura računalnog program SAS 9.1 (SAS Inst. Inc.). Podaci o ovisnosti emisije C-CO₂ o četiri gnojdbena tretmana analizirali su se po modelu jednosmjerne analize varijance. U model su bili uključeni i zavisnost emisija C-CO₂ o mjesecima i godinama mjerenja, te značajnost njihovih interakcija.

Za svaku kulturu (*Triticum aestivum* L., *Zea mays* L. i *Glycine max* L.) provele su se odvojene analize. Zavisnu varijablu predstavljala je emisija C-CO₂ dok je nezavisnu varijablu predstavljao tip gnojdbne, mjeseci i godine.

Razlike između srednjih vrijednosti ukupnog C u tlu u ovisnosti o tretmanima gnojdbne i godinama, te značajnost njihovih interakcija testirale su se analizom varijance uz prag značajnosti od 5 % kao tri zasebna pokusa na jednoj lokaciji u tri vegetacijske sezone (*Triticum aestivum* L., *Zea mays* L. i *Glycine max* L.).

Međusobna ovisnost emisije C-CO₂ i ukupnog C u tlu provela se regresijskom analizom računalnog programa SAS 9.1 (SAS Inst. Inc.).

Za signifikantne učinke provela se usporedba srednjih vrijednosti primjenom Fisher testa višestrukih usporedbi (Fisher's Least Significant Difference (LSD) test).

Jačina korelacije između emisije ugljikovog dioksida iz tla i agroekoloških čimbenika interpretirana je prema Roemer-Orphal-ovoj skali (Tablica 12).

Tablica 12. Roemer-Orphal-ova skala

| Jačina korelacije | Koeficijent korelacije (r) |
|-------------------|----------------------------|
| Ne postoji | 0,0-0,1 |
| Vrlo slaba | 0,1-0,25 |
| Slaba | 0,25-0,4 |
| Srednja | 0,4-0,5 |
| Jaka | 0,5-0,75 |
| Vrlo jaka | 0,75-0,9 |
| Potpuna | 0,9-1,0 |

Izvor: Vasilj, 2000.

4. REZULTATI

4.1. KLIMATSKE PRILIKE ISTRAŽIVANOG RAZDOBLJA

4.1.1. Klimatske prilike u 2016. godini

Na području Siska u 2016. godini, srednja godišnja temperatura zraka iznosila je 12,1 °C. U usporedbi s referentnim periodom 1991. – 2020., srednja godišnja temperatura zraka u istraživanoj 2016. godini bila je viša za 0,2 °C. Srednja minimalna temperatura za istraživanu 2016. godinu iznosi 0,8 °C. Najniže srednje minimalne temperature kretale su se od -9,6 °C u siječnju do 13,2 °C u srpnju. Negativnu srednju minimalnu temperaturu imaju siječanj, veljača, ožujak, travanj, studeni i prosinac. Srednja maksimalna temperatura za istraživanu 2016. godinu iznosi 25,8 °C. Srednje maksimalne temperature kretale su se od 12,1 °C u prosincu do 35,3 °C u srpnju (Tablica 13).

Ukupna količina oborine koja je pala na području Siska u istraživanoj 2016. godini iznosi 1024,3 mm. Najveće mjesečne količine oborina javljaju se u veljači (129,1 mm) a sekundarni maksimum javlja se u studenom (116,2 mm). Zimski minimum oborine pada u ožujku (90,2 mm), a jesenski u rujnu (88,6 mm) (Tablica 13).

Odnos između prosječne količine oborine i srednje godišnje temperature zraka ukazuje da prosječna vrijednost Langovog kišnog faktora iznosi 84,5 što ukazuje na semihumidnu klimu ovog područja (Tablica 13).

Tablica 13. Kretanje temeljnih klimatskih pokazatelja u 2016. godini

| Srednja mjesečna i godišnja temperatura zraka, T_{min} i T_{max} (°C) | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|------|-------------------------|
| Mjeseci | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Srednja god. vrijednost |
| t (°C) | 1,6 | 7,1 | 7,8 | 12,9 | 16,2 | 21,2 | 23,5 | 20,4 | 18,0 | 10,1 | 7,1 | -0,4 | 12,1 |
| T_{min} | -9,6 | -3,2 | -1,5 | -2,1 | 4,1 | 11,6 | 13,2 | 6,9 | 5,2 | 0,0 | -5,5 | -9,2 | 0,8 |
| T_{max} | 18,0 | 19,7 | 22,5 | 27,7 | 30,6 | 33,3 | 35,3 | 32,6 | 30,4 | 25,8 | 21,6 | 12,1 | 25,8 |
| Mjesečna i godišnja količina oborine (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| Mjeseci | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Ukupna god. vrijednost |
| R (mm) | 102,6 | 129,1 | 90,2 | 51,6 | 108,4 | 121,4 | 97,7 | 50,4 | 64,5 | 88,6 | 116,2 | 3,6 | 1024,3 |
| Langov godišnji kišni faktor* (Lang, 1920.) | | | | | | | | | | | | | |
| Mjeseci | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Srednja god. vrijednost |
| Lkf | 64,1 | 18,2 | 11,6 | 4,0 | 6,7 | 5,7 | 4,2 | 2,5 | 3,6 | 8,8 | 16,4 | - | 84,5 |
| Oznaka | ph | ph | h | Sa | h | sh | sa | a | sa | h | ph | - | sh |

*Za svaki pojedini mjesec, Langov godišnji kišni faktor interpretira se pomoću oznaka humiditeta za mjesečne vrijednosti: <1,6 peraridan (pa); 1,6 – 3,3 aridan (a); 3,3 – 5,0 semiaridan (sa); 5,0 – 6,6 semihumidan (sh); 6,6 – 13,3 humidan (h); >13,3 perhumidan (ph). Srednja godišnja vrijednost interpretira se pomoću oznaka humiditeta za godišnju vrijednost: 0 – 40 aridna (a); 40 – 80 semiaridna (sa); 80 – 100 semihumidna (sh); 100 – 160 humidna (h); > 160 perhumidna (ph).

Godišnji prosjek tlaka zraka za istraživanu 2016. godinu iznosi 1005,2 hPa (Tablica 14). Tijekom godine možemo uočiti kako je tlak u prosjeku viši u kasnim jesenskim i zimskim mjesecima nego u ljetnom razdoblju.

Tablica 14. Godišnji hod srednjeg tlaka zraka (p) za Sisak, 2016.

| Tlak zraka | | | | | | | | | | | | | Sred. god. vrijed. |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------|
| Mj. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| P (hPa) | 1004,7 | 1002,0 | 1001,5 | 1001,1 | 1001,0 | 1001,6 | 1004,0 | 1007,0 | 1006,2 | 1008,6 | 1006,1 | 1018,6 | 1005,2 |

Srednje mjesečne vrijednosti relativne vlažnosti zraka u istraživanoj 2016. godini kreću se od 69 % u travnju do 85 % u prosincu, što bi u klimatskom smislu značilo da je područje pokusa bogato vlagom u zraku tijekom cijele godine (Tablica 15).

Tablica 15. Godišnji hod srednje relativne vlažnosti zraka (U %) za Sisak, 2016.

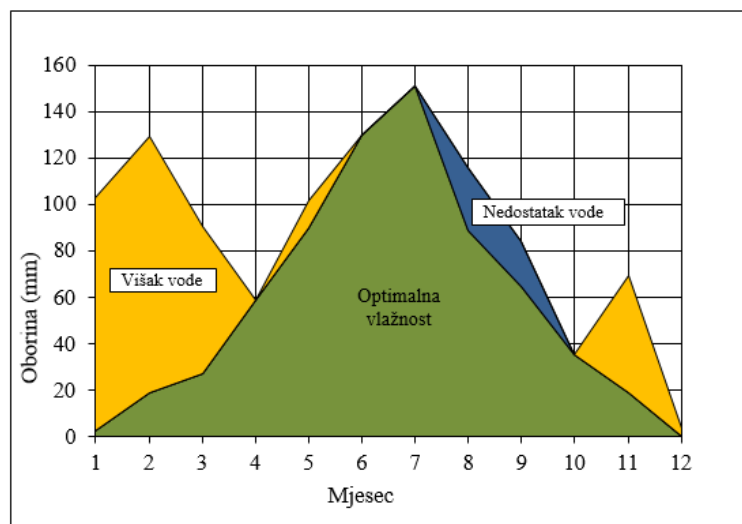
| Relativna vlažnost zraka | | | | | | | | | | | | | Srednja god. vrijed. |
|--------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------------------|
| Mjeseci | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| U(%) | 82 | 79 | 76 | 69 | 73 | 71 | 71 | 74 | 77 | 83 | 82 | 85 | 77 |

U tablici 16 navedene su vrijednosti proračuna evapotranspiracije prema metodi Thornthwaitea. Prema prosječnim vrijednostima za istraživanu 2016. godinu stvarna evapotranspiracija iznosi 685,1 mm godišnje, a manjak vode javlja se u kolovozu i rujnu, u ukupnom iznosu od 46,2 mm. Višak vode javlja se najvećim dijelom tijekom zimskih mjeseci te početkom proljeća zaključno sa svibnjom, a iznosi ukupno 339,2 mm (Tablica 16, slika 35).

Tablica 16. Bilanca vode u tlu prema metodi Thornthwaitea, Sisak, 2016. godina

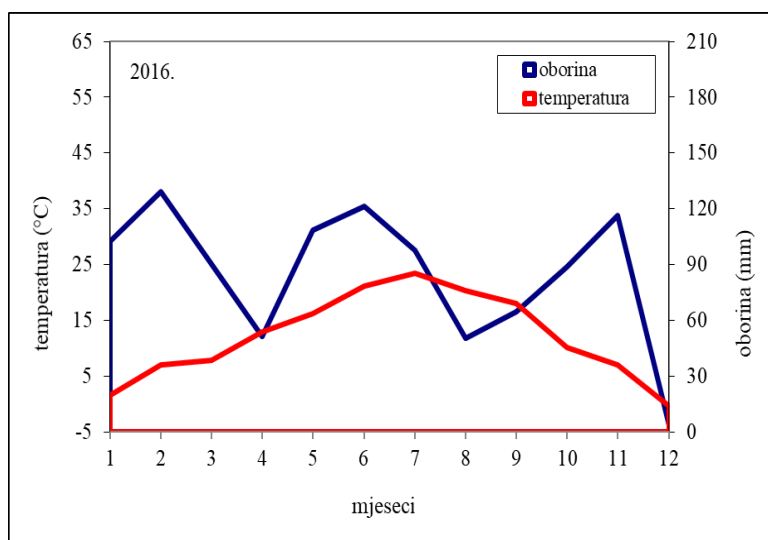
| Mjesec | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Suma |
|-------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|--------|
| Oborina(mm) | 102,6 | 129,1 | 90,2 | 51,6 | 108,4 | 121,4 | 97,7 | 50,4 | 64,5 | 88,6 | 116,2 | 3,6 | 1024,3 |
| t (°C) | 1,6 | 7,1 | 7,8 | 12,9 | 16,2 | 21,2 | 23,5 | 20,4 | 18,0 | 10,1 | 7,1 | -0,4 | 12,1 |
| pet.kor(mm) | 2,6 | 19,0 | 27,1 | 58,6 | 89,9 | 129,6 | 151,0 | 115,5 | 84,1 | 35,2 | 18,5 | 0,0 | 731,2 |
| R(mm) | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 93,0 | 100,0 | 91,8 | 38,5 | 0,0 | 0,0 | 53,4 | 100,0 | 100,0 | 876,6 |
| set(mm) | 2,6 | 19,0 | 27,1 | 58,6 | 89,9 | 129,6 | 151,0 | 88,9 | 64,5 | 35,2 | 18,5 | 0,0 | 685,1 |
| m(mm) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 26,6 | 19,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 46,2 |
| v(mm) | 100,0 | 110,1 | 63,1 | 0,0 | 11,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 51,0 | 3,6 | 339,2 |

Oznake: pet.kor. = potencijalna korigirana evapotranspiracija; R = Rezerva vode u tlu; set = stvarna evapotranspiracija; m = manjak vode u tlu; v = višak vode u tlu



Slika 35. Bilanca vode u tlu prema metodi Thornthwaitea za Sisak, 2016.

Prosječne vrijednosti sume oborine i srednjih mjesečnih temperatura po mjesecima prikazane su na klimadijagramu za istraživanu 2016. godinu (Slika 36). Na temelju hoda krivulje oborine i temperature, može se vidjeti postojanje sušnog razdoblja u srpnju, kolovozu i rujnu. U travnju, iako se krivulja oborine približava krivulji temperature, nema sušnog razdoblja.



Slika 36. Prikaz godišnjeg hoda temperature zraka i količine oborine pomoću Walterovog klimatskog dijagrama, Sisak, 2016.

4.1.2. Klimatske prilike u 2017. godini

Na području Siska u 2017. godini, srednja godišnja temperatura zraka iznosila je 12,4 °C. U usporedbi s referentnim periodom 1991. – 2020., srednja godišnja temperatura zraka u istraživanoj 2017. godini bila je viša za 0,5 °C. Srednja minimalna temperatura za istraživanu 2017. godinu iznosi 2,9 °C. Najniže srednje minimalne temperature kretale su se od -6,9 °C u prosincu do 13,8 °C u siječnju. Negativnu srednju minimalnu temperaturu imaju veljača, ožujak, travanj, studeni i prosinac. Srednja maksimalna temperatura za istraživanu 2017. godinu iznosi 25,9 °C. Srednje maksimalne temperature kretale su se od 13,1 °C u siječnju do 38,4 °C u kolovozu (Tablica 17).

Ukupna količina oborine koja je pala na području Siska u istraživanoj 2017. godini iznosi 938,6 mm. Najveće mjesečne količine oborina javljaju se u rujnu (191,0 mm) a sekundarni maksimum javlja se u prosincu (113,6 mm). Zimski minimum oborine pada u siječnju (46,1 mm), a jesenski u listopadu (81,1 mm) (Tablica 17).

Odnos između prosječne količine oborine i srednje godišnje temperature zraka ukazuje da prosječna vrijednost Langovog kišnog faktora iznosi 75,8 što ukazuje na semiaridnu klimu ovog područja (Tablica 17).

Tablica 17. Kretanje temeljnih klimatskih pokazatelja u 2017. godini

| Srednja mjesečna i godišnja temperatura zraka, T _{min} i T _{max} (°C) | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------------------------|
| Mjeseci | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Srednja god. vrijednost |
| t (°C) | -4,0 | 5,2 | 9,8 | 12,0 | 17,5 | 22,8 | 23,7 | 23,2 | 15,1 | 11,6 | 7,3 | 4,3 | 12,4 |
| T _{min} | 13,8 | -5,3 | -1,9 | -1,6 | 6,7 | 9,6 | 10,8 | 9,6 | 4,0 | 0,0 | -3,9 | -6,9 | 2,9 |
| T _{max} | 13,1 | 18,4 | 23,7 | 25,2 | 30,3 | 35,5 | 37,0 | 38,4 | 27,3 | 26,4 | 18,5 | 17,2 | 25,9 |
| Mjesečna i godišnja količina oborine, mm | | | | | | | | | | | | | |
| Mjeseci | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Ukupna god. vrijednost |
| R (mm) | 46,4 | 66,4 | 47,8 | 63,2 | 78,7 | 48,1 | 64,9 | 28,0 | 191,0 | 81,1 | 109,4 | 113,6 | 938,6 |
| Langov godišnji kišni faktor (Lang, 1920.) | | | | | | | | | | | | | |
| Mjeseci | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Godišnja vrijednost |
| Lkf | - | 12,8 | 4,9 | 5,3 | 4,5 | 2,1 | 2,7 | 1,2 | 12,6 | 7,0 | 15,0 | 26,4 | 75,8 |
| Oznaka | - | h | sa | Sh | sa | a | a | pa | h | h | ph | ph | sa |

*Za svaki pojedini mjesec, Langov godišnji kišni faktor interpretira se pomoću oznaka humiditeta za mjesečne vrijednosti: <1,6 peraridan (pa); 1,6 – 3,3 aridan (a); 3,3 – 5,0 semiaridan (sa); 5,0 – 6,6 semihumidan (sh); 6,6 – 13,3 humidan (h); >13,3 perhumidan (ph). Srednja godišnja vrijednost interpretira se pomoću oznaka humiditeta za godišnju vrijednost: 0 – 40 aridna (a); 40 – 80 semiaridna (sa); 80 – 100 semihumidna (sh); 100 – 160 humidna (h); > 160 perhumidna (ph).

Godišnji prosjek tlaka zraka za istraživanu 2017. godinu iznosi 1005,6 hPa (Tablica 18). Tijekom godine možemo uočiti kako je tlak u prosjeku viši u kasnim jesenskim i zimskim mjesecima nego u ljetnom razdoblju.

Tablica 18. Godišnji hod srednjeg tlaka zraka (p) za Sisak, 2017.

| Tlak zraka | | | | | | | | | | | | | Srednja god.vrijed. d. |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------------------|
| Mj. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| P(hPa) | 1012,1 | 1008,4 | 1005,7 | 1005,1 | 1004,2 | 1002,9 | 1002,6 | 1004,7 | 1004,0 | 1008,0 | 1004,7 | 1005,3 | 1005,6 |

Srednje mjesečne vrijednosti relativne vlažnosti zraka u istraživanoj 2017. godini kreću se od 61 % u srpnju do 84 % u siječnju, što bi u klimatskom smislu značilo da je područje pokusa bogato vlagom u zraku tijekom cijele godine (Tablica 19).

Tablica 19. Godišnji hod srednje relativne vlažnosti zraka (U %) za Sisak, 2017.

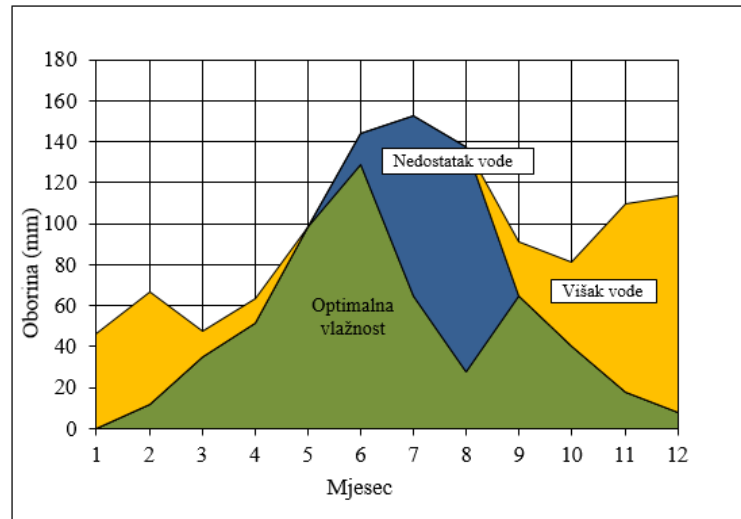
| Relativna vlažnost zraka | | | | | | | | | | | | | Srednja god. vrijed. |
|--------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------------------|
| Mjeseci | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| U(%) | 84 | 78 | 69 | 68 | 69 | 63 | 61 | 67 | 83 | 79 | 80 | 78 | 73 |

U tablici 20. navedene su vrijednosti proračuna evapotranspiracije prema metodi Thornthwaitea. Prema prosječnim vrijednostima za istraživanu 2017. godinu stvarna evapotranspiracija iznosi 548,9 mm godišnje, a manjak vode javlja se u lipnju, srpnju i kolovozu, u ukupnom iznosu od 212,6 mm. Višak vode javlja se najvećim dijelom tijekom jesenskih i zimskih mjeseci te početkom proljeća zaključno sa travnjom, a iznosi ukupno 389,7 mm (Tablica 20, slika 37).

Tablica 20. Bilanca vode u tlu prema metodi Thornthwaitea, Sisak, 2017. godina

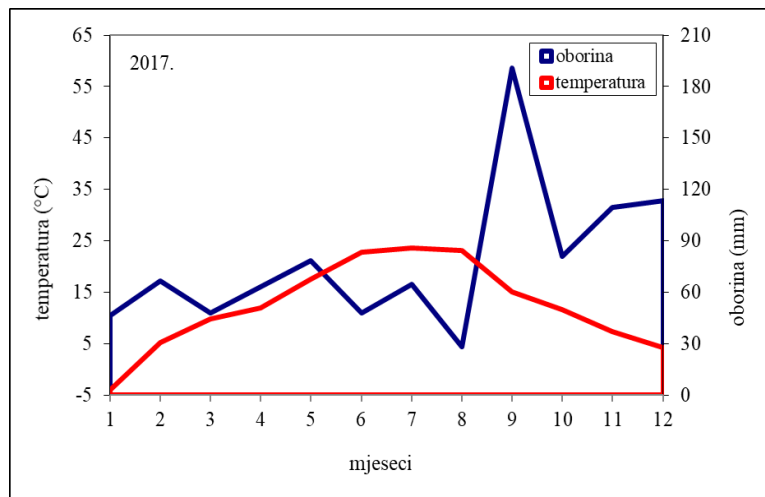
| Mjesec | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Suma |
|--------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| Oborina(mm) | 46,4 | 66,4 | 47,8 | 63,2 | 78,7 | 48,1 | 64,9 | 28,0 | 191,0 | 81,1 | 109,4 | 113,6 | 938,6 |
| t (°C) | -4,0 | 5,2 | 9,8 | 12,0 | 17,5 | 22,8 | 23,7 | 23,2 | 15,1 | 11,6 | 7,3 | 4,3 | 12,4 |
| pet.kor (mm) | 0,0 | 11,6 | 34,9 | 51,2 | 98,3 | 143,8 | 152,9 | 137,2 | 64,7 | 40,6 | 18,0 | 8,1 | 761,4 |
| R (mm) | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 80,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 880,4 |
| set (mm) | 0,0 | 11,6 | 34,9 | 51,2 | 98,3 | 128,5 | 64,9 | 28,0 | 64,7 | 40,6 | 18,0 | 8,1 | 548,9 |
| m (mm) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 15,4 | 88,0 | 109,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 212,6 |
| v (mm) | 46,4 | 54,8 | 12,9 | 12,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 26,3 | 40,5 | 91,4 | 105,5 | 389,7 |

Oznake: pet.kor. = potencijalna korigirana evapotranspiracija; R = Rezerva vode u tlu; set = stvarna evapotranspiracija; m = manjak vode u tlu; v = višak vode u tlu



Slika 37. Bilanca vode u tlu prema metodi Thornthwaitea za Sisak, 2017.

Prosječne vrijednosti sume oborine i srednjih mjesečnih temperatura po mjesecima prikazane su na klimadijagramu za istraživanu 2017. godinu (Slika 38). Na temelju hoda krivulje oborine i temperature, može se vidjeti postojanje sušnog razdoblja u svibnju, lipnju, srpnju i kolovozu.



Slika 38. Prikaz godišnjeg hoda temperature zraka i količine oborine pomoću Walterovog klimatskog dijagrama, Sisak, 2017.

4.1.3. Klimatske prilike u 2018. godini

Na području Siska u 2018. godini, srednja godišnja temperatura zraka iznosila je 12,7 °C. U usporedbi s referentim periodom 1991. – 2020., srednja godišnja temperatura zraka u istraživanoj 2018. godini bila je viša za 0,8 °C. Srednja minimalna temperatura za istraživanu 2018. godinu iznosi 0,3 °C. Najniže srednje minimalne temperature kretale su se od -14,2 °C u ožujku do 13,4 °C u srpnju. Negativnu srednju minimalnu temperaturu imaju siječanj, veljača, ožujak, studeni i prosinac. Srednja maksimalna temperatura za istraživanu 2018. godinu iznosi 24,4 °C. Srednje maksimalne temperature kretale su se od 14,4 °C u prosincu do 33,7 °C u kolovozu (Tablica 21).

Ukupna količina oborine koja je pala na području Siska u istraživanoj 2018. godini iznosi 924,1 mm. Najveće mjesečne količine oborina javljaju se u veljači (135,6 mm) a sekundarni maksimum javlja se u ožujku (109,1 mm). Zimski minimum oborine pada u prosincu (38,6 mm), a jesenski u listopadu (42,4 mm) (Tablica 21).

Odnos između prosječne količine oborine i srednje godišnje temperature zraka ukazuje da prosječna vrijednost Langovog kišnog faktora iznosi 72,9 što ukazuje na semiaridnu klimu ovog područja (Tablica 21).

Tablica 21. Kretanje temeljnih klimatskih pokazatelja u 2018. godini

| Srednja mjesečna i godišnja temperatura zraka, °C | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------------------------|
| Mjeseci | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Srednja god.vrijednost |
| t (°C) | 5,50 | -0,10 | 5,40 | 15,80 | 19,10 | 21,00 | 22,50 | 22,90 | 17,10 | 13,30 | 7,60 | 2,0 | 12,7 |
| T _{min} | -3,2 | -11,3 | -14,2 | 2,8 | 8,1 | 7,7 | 13,4 | 9,9 | 0,6 | 1,2 | -6,4 | -5,3 | 0,3 |
| T _{max} | 17,7 | 15,2 | 18,7 | 29,6 | 30,1 | - | 31,8 | 33,7 | 30,8 | 25,2 | 21,8 | 14,4 | 24,4 |
| Mjesečna i godišnja količina oborine, mm | | | | | | | | | | | | | |
| Mjeseci | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Ukupna god.vrijednost |
| R (mm) | 66,5 | 135,6 | 109,1 | 57,6 | 114,2 | 99,9 | 91,4 | 47,5 | 60,4 | 42,4 | 60,9 | 38,6 | 924,1 |
| Langov godišnji kišni faktor (Lang, 1920.) | | | | | | | | | | | | | |
| Mjeseci | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Godišnja vrijednost |
| Lkf | 12,1 | - | 20,2 | 3,6 | 6,0 | 4,8 | 4,1 | 2,1 | 3,5 | 3,2 | 8,0 | 19,3 | 72,9 |
| Oznaka | h | - | ph | sa | sh | sa | sa | a | sa | a | h | ph | sa |

*Za svaki pojedini mjesec, Langov godišnji kišni faktor interpretira se pomoću oznaka humiditeta za mjesečne vrijednosti: <1,6 peraridan (pa); 1,6 – 3,3 aridan (a); 3,3 – 5,0 semiaridan (sa); 5,0 – 6,6 semihumidan (sh); 6,6 – 13,3 humidan (h); >13,3 perhumidan (ph). Srednja godišnja vrijednost interpretira se pomoću oznaka humiditeta za godišnju vrijednost: 0 – 40 aridna (a); 40 – 80 semiaridna (sa); 80 – 100 semihumidna (sh); 100 – 160 humidna (h); > 160 perhumidna (ph).

Godišnji prosjek tlaka zraka za istraživanu 2018. godinu iznosi 1004,2 hPa (Tablica 22). Tijekom godine možemo uočiti kako je tlak u prosjeku viši u kasnim jesenskim i zimskim mjesecima nego u ljetnom razdoblju.

Tablica 22. Godišnji hod srednjeg tlaka zraka (p) za Sisak, 2018.

| Tlak zraka | | | | | | | | | | | | | |
|------------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------|
| Mj. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Sred. god. vrijed. |
| P (hPa) | 1005,7 | 1003,8 | 995,4 | 1003,4 | 1002,1 | 1001,6 | 1001,7 | 1003,8 | 1008,2 | 1006,9 | 1008,2 | 1009,2 | 1004,2 |

Srednje mjesečne vrijednosti relativne vlažnosti zraka u istraživanoj 2018. godini kreću se od 67 % u travnju do 87 % u studenom, što bi u klimatskom smislu značilo da je područje pokusa bogato vlagom u zraku tijekom cijele godine (Tablica 23).

Tablica 23. Godišnji hod srednje relativne vlažnosti zraka (U %) za Sisak, 2018.

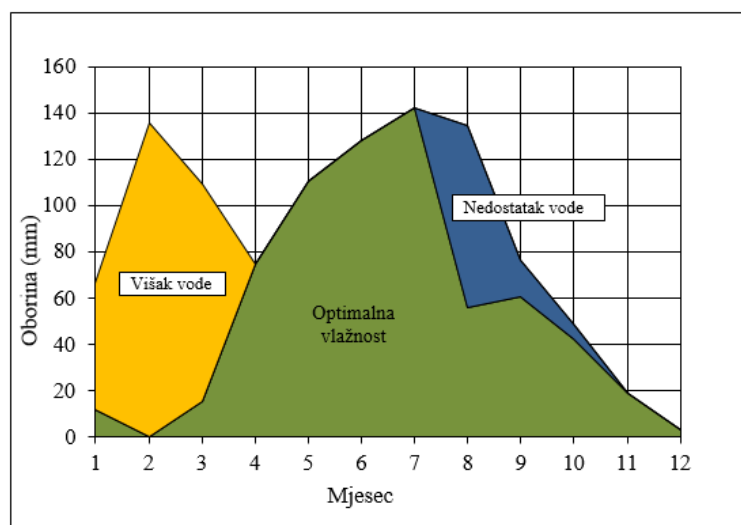
| Relativna vlažnost zraka | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------------------|
| Mjeseci | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Srednja god. vrijednost |
| U(%) | 81 | 85 | 75 | 67 | 73 | 73 | 73 | 75 | 78 | 78 | 87 | 85 | 78 |

U tablici 24. navedene su vrijednosti proračuna evapotranspiracije prema metodi Thornthwaitea. Prema prosječnim vrijednostima za istraživanu 2018. godinu stvarna evapotranspiracija iznosi 662,1 mm godišnje, a manjak vode javlja se u kolovozu, rujnu i listopadu, u ukupnom iznosu od 101,4 mm. Višak vode javlja se najvećim dijelom tijekom zimskih mjeseci a iznosi ukupno 284,1 mm (Tablica 24, slika 39).

Tablica 24. Bilanca vode u tlu prema metodi Thornthwaitea, Sisak, 2018. godina

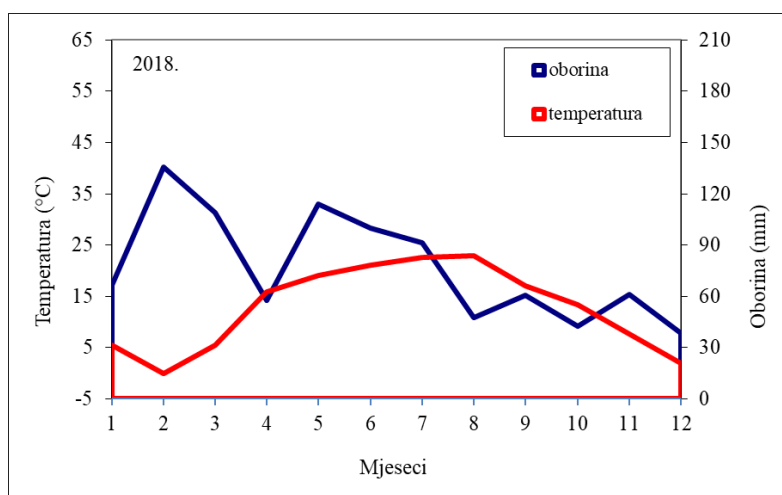
| Mjesec | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Suma |
|-------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|--------------|
| Oborina(mm) | 66,5 | 135,6 | 109,1 | 57,6 | 114,2 | 99,9 | 91,4 | 47,5 | 60,4 | 42,4 | 60,9 | 38,6 | 924,1 |
| t (°C) | 5,5 | -0,1 | 5,4 | 15,8 | 19,1 | 21,0 | 22,5 | 22,9 | 17,1 | 13,3 | 7,6 | 2,0 | 12,7 |
| pet.kor(mm) | 12,0 | 0,0 | 15,1 | 74,4 | 110,6 | 128,1 | 142,1 | 134,5 | 76,4 | 48,7 | 18,8 | 2,8 | 763,4 |
| R(mm) | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 83,2 | 86,9 | 58,7 | 8,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 42,1 | 77,9 | 656,8 |
| set(mm) | 12,0 | 0,0 | 15,1 | 74,4 | 110,6 | 128,1 | 142,1 | 55,5 | 60,4 | 42,4 | 18,8 | 2,8 | 662,1 |
| m(mm) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 79,0 | 16,0 | 6,3 | 0,0 | 0,0 | 101,4 |
| v(mm) | 54,5 | 135,6 | 94,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 284,1 |

Oznake: pet.kor. = potencijalna korigirana evapotranspiracija; R = Rezerva vode u tlu; set = stvarna evapotranspiracija; m = manjak vode u tlu; v = višak vode u tlu



Slika 39. Bilanca vode u tlu prema metodi Thornthwaitea za Sisak, 2018.

Prosječne vrijednosti sume oborine i srednjih mjesečnih temperatura po mjesecima prikazane su na klimadijagramu za istraživanu 2018. godinu (Slika 40). Na temelju hoda krivulje oborine i temperature, može se vidjeti postojanje sušnog razdoblja u srpnju, kolovozu, rujnu i listopadu. U travnju, iako se krivulja oborine približava krivulji temperature, nema sušnog razdoblja.



Slika 40. Prikaz godišnjeg hoda temperature zraka i količine oborine pomoću Walterovog klimatskog dijagrama, Sisak, 2018.

4.2. TEST KULTURE U ISTRAŽIVANJU

4.2.1. Prinos i njegovi sastavni dijelovi za istraživane kulture

Prinos zrna ($t\ ha^{-1}$) ozime pšenice, kukuruza i soje, sadržaj vlage (%), te apsolutna i hektolitarska masa (g) uz pripadajuće standardne devijacije prikazani su u tablici 25.

U 2016. godini, u vegetaciji ozime pšenice, najviši prinos od $7,37\ t\ ha^{-1}$ zabilježen je na tretmanu s primijenjenom mineralnom gnojdbom (III.), a slijedi ju tretman s organskom gnojdbom (II.) sa $7,07\ t\ ha^{-1}$, te kontrolni tretman (I.) sa $1,16\ t\ ha^{-1}$. Sadržaj vlage kretao se od 10,86 % (III.) do 11,23 % (II.). Apsolutna masa zrna kretala se od 3,95 g (I.) do 4,07 g (II.), dok se hektolitarska masa kretala od 192,80 g (I.) do 193,75 g (II. i III.).

U 2017. godini, u vegetaciji kukuruza, najviši prinos od $14,80\ t\ ha^{-1}$ zabilježen je na tretmanu s primijenjenom mineralnom gnojdbom (III.), a slijedi ju tretman s organskom gnojdbom (II.) sa $14,58\ t\ ha^{-1}$, te kontrolni tretman (I.) sa $3,13\ t\ ha^{-1}$. Sadržaj vlage kretao se od 21,49 % (III.) do 23,88 % (II.). Apsolutna masa zrna kretala se od 40,80 g (I.) do 47,30 g (II.), dok se hektolitarska masa kretala od 154,13 g (III.) do 155,63 g (I.).

U 2018. godini, u vegetaciji soje, najviši prinos od $4,99\ t\ ha^{-1}$ zabilježen je na tretmanu s primijenjenom mineralnom gnojdbom (III.), a slijedi ju tretman s organskom gnojdbom (II.) sa $4,62\ t\ ha^{-1}$, te kontrolni tretman (I.) sa $4,55\ t\ ha^{-1}$. Sadržaj vlage kretao se od 9,15 % (I.) do 9,69 % (II. i III.). Apsolutna masa zrna kretala se od 14,32 g (I.) do 14,94 g (III.), dok se hektolitarska masa kretala od 159,38 g (I.) do 167,50 g (II.).

Prema Godišnjem izvješću o stanju poljoprivrede u 2022. godini Ministarstva poljoprivrede, dobiveni prinosi iz ovog istraživanja općenito su u skladu ili iznad prosječnih prinosa za Republiku Hrvatsku ($5,9\ t/ha$ za pšenicu, $7,8\ t/ha$ za kukuruz te $2,8\ t/ha$ za soju) za šestogodišnje razdoblje od 2017. do 2022. godine.

Tablica 25. Prinos zrna ($t\ ha^{-1}$), sadržaj vlage (%), apsolutna masa (g) i hektolitarska masa (g)

| Tretman | Prinos zrna ($t\ ha^{-1}$) | st.dev. | Vlaga (%) | st.dev. | Apsolutna masa (g) | st.dev. | Hektolitarska masa (g) | st.dev. |
|------------------------------------|------------------------------|---------|-----------|---------|--------------------|---------|------------------------|---------|
| Ozima pšenica, 2016. godina | | | | | | | | |
| I. | 1,16 | 0,39 | 10,97 | 0,27 | 3,95 | 0,11 | 192,80 | 1,60 |
| II. | 7,07 | 0,32 | 11,23 | 0,29 | 4,07 | 0,09 | 193,75 | 2,86 |
| III. | 7,37 | 0,68 | 10,86 | 0,71 | 4,05 | 0,09 | 193,75 | 3,01 |
| IV. | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Kukuruz, 2017. godina | | | | | | | | |
| I. | 3,13 | 0,50 | 22,38 | 1,82 | 40,80 | 1,80 | 155,63 | 2,94 |
| II. | 14,58 | 0,97 | 23,88 | 2,56 | 47,30 | 3,50 | 155,25 | 2,36 |
| III. | 14,80 | 1,02 | 21,49 | 10,77 | 44,33 | 0,37 | 154,13 | 4,48 |
| IV. | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Soja, 2018. godina | | | | | | | | |
| I. | 4,55 | 0,39 | 9,15 | 0,27 | 14,32 | 0,26 | 159,38 | 6,18 |
| II. | 4,62 | 0,15 | 9,69 | 0,21 | 14,52 | 0,07 | 167,50 | 7,54 |
| III. | 4,99 | 0,33 | 9,69 | 0,17 | 14,94 | 0,62 | 165,63 | 7,64 |
| IV. | - | - | - | - | - | - | - | - |

Tretmani: I. - kontrola, negnojeno; II. - N250 + P + K + 40 $t\ ha^{-1}$ organskog krutog stajskog miješanog gnoja; III. - N300 + P + K; IV. – crni ugar, obrada bez sjetve.

4.2.2. Sadržaj ukupnog ugljika (%) i dušika (%), te sadržaj proteina (%) u istraživanim kulturama

Sadržaj ukupnog ugljika i dušika (%) u biljnom materijalu (zrnu) te sadržaj proteina (%) istraživanih kultura prikazan je u tablici 26.

Sadržaj ukupnog ugljika (C, %) u zrnu ozime pšenice kretao se od 45,19 % na kontrolnom tretmanu i tretmanu s mineralnom gnojdbom, do 45,45 % na tretmanu s primijenjenom organskom gnojdbom. Sadržaj ukupnog dušika u zrnu ozime pšenice kretao se od 2,10 % na tretmanu s organskom gnojdbom do 2,23 % na kontrolnom tretmanu.

Sadržaj ukupnog ugljika (C, %) u zrnu kukuruza kretao se od 45,63 % na tretmanu s organskom te mineralnom gnojdbom, do 45,69 % na kontrolnom tretmanu. Sadržaj ukupnog dušika u zrnu kukuruza kretao se od 1,42 % na tretmanu s organskom gnojdbom do 1,49 % na tretmanu s mineralnom gnojdbom.

Sadržaj ukupnog ugljika (C, %) u zrnu soje kretao se od 53,22 % na tretmanu s organskom gnojdbom, do 53,91 % na tretmanu s primijenjenom mineralnom gnojdbom. Sadržaj ukupnog dušika u zrnu soje kretao se od 5,66 % na tretmanu s organskom gnojdbom do 5,98 % na kontrolnom tretmanu.

Sadržaj proteina u pšenici iznosio je 12,24 % na tretmanu s primijenjenom organskom gnojdbom, odnosno 12,53 % na tretmanu s primijenjenom mineralnom gnojdbom, te 13,00 %

na kontrolnom tretmanu. S obzirom na utvrđeni postotak proteina, pšenica iz ovog istraživanja spada u II. klasu kvalitete prema Kodeksu o otkupu žitarica i uljarica od strane Ministarstva poljoprivrede Republike Hrvatske. U vegetaciji kukuruza, sadržaj proteina kretao se od 9,06 % na kontrolnom tretmanu do 9,31 % na tretmanu s primijenjenom mineralnom gnojidbom, što je prema autoru Grbeša (2016) u skladu sa sadržajem proteina kod kukuruza (8 – 9 %). U vegetaciji soje, sadržaj proteina kretao se od 32,32 % na tretmanu s primijenjenom organskom gnojidbom do 34,15 % na kontrolnom tretmanu, što je nešto niže od sadržaja proteina kod soje koji iznosi približno 40 % (Miladinović, 2012).

Tablica 26. Sadržaj ukupnog ugljika i dušika (%) u biljnom materijalu (zrnu) ozime pšenice, kukuruza i soje te sadržaj proteina (%)

| Tretman | Ozima pšenica | | | Kukuruz | | | Soja | | |
|---------|---------------|--------------|------------|--------------|--------------|------------|--------------|--------------|------------|
| | Ukupni C (%) | Ukupni N (%) | % proteina | Ukupni C (%) | Ukupni N (%) | % proteina | Ukupni C (%) | Ukupni N (%) | % proteina |
| I. | 45,19 | 2,23 | 13,00 | 45,69 | 1,45 | 9,06 | 53,90 | 5,98 | 34,15 |
| II. | 45,45 | 2,10 | 12,24 | 45,63 | 1,42 | 8,88 | 53,22 | 5,66 | 32,32 |
| III. | 45,19 | 2,15 | 12,53 | 45,63 | 1,49 | 9,31 | 53,91 | 5,67 | 32,38 |
| IV. | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Tretmani: I. - kontrola, negnojeno; II. - N250 + P + K + 40 t ha⁻¹ organskog krutog stajskog miješanog gnoja; III. - N300 + P + K; IV. – crni ugar, obrada bez sjetve.

4.3. SVOJSTVA TLA

4.3.1. Kemijska svojstva tla

Prosječne vrijednosti reakcije tla, elektrovodljivosti, sadržaja humusa te sadržaja biljci pristupačnog fosfora i kalija u tlu prikazane su u tablici 27. Interpretacija svojstava tla izvršena je prema Škorić (1982) i HAPIH (2020).

U 2016. godini reakcija tla (1 M KCl) na pokusnom polju je slabo kisela na kontrolnom tretmanu (I.) te kisela na svim ostalim tretmanima (II., III. i IV.), a vrijednosti se kreću od 4,93 do 5,62. Stupanj zaslanjenosti tla, odnosno elektrovodljivost tla (EC) nam ukazuje da je tlo nezaslanjeno na svim tretmanima te iznosi 107 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Sadržaj humusa u tlu kretao se od 1,4 na tretmanu I. (slabo humozno) do 2,7 na II. i III. tretmanu (srednje humozno). Opskrbljenost fosforom je slaba na kontrolnom tretmanu (I.) i iznosi 11,0 mg 100 g⁻¹ tla te na crnom ugaru (IV.) i iznosi 10,1 mg 100 g⁻¹ tla. Na tretmanu s organskom i mineralnom gnojidbom, opskrbljenost fosforom je dobra (19,6 – 19,7 mg 100g⁻¹ tla). Tlo je bogato opskrbljeno kalijem na tretmanu II. s organskom gnojidbom (29,9 mg 100g⁻¹ tla), dobro opskrbljeno na kontrolnom (15,4 mg 100g⁻¹ tla) i tretmanu III. s mineralnom gnojidbom (25,6 mg 100g⁻¹ tla), te slabo opskrbljeno na tretmanu IV. (14,7 mg 100g⁻¹ tla).

U 2018. godini reakcija tla (1 M KCl) na pokusnom polju je kisela na svim tretmanima pokusnog polja, a vrijednosti se kreću od 4,67 do 4,89. Stupanj zaslanjenosti tla, odnosno elektrovodljivost tla (EC) nam ukazuje da je tlo nezaslanjeno na svim tretmanima i kreće se od 66 $\mu\text{S cm}^{-1}$ na tretmanu s crnim ugarom (IV.) do 77 $\mu\text{S cm}^{-1}$ na tretmanu s mineralnom gnojdbom (III.). Sadržaj humusa u tlu kretao se od 1,9 na tretmanu I. (slabo humozno) do 3,0 na II. tretmanu (srednje humozno). Opskrbljenost fosforom je slaba na kontrolnom tretmanu (I.) i iznosi 9,53 mg 100 g⁻¹ tla te na crnom ugaru (IV.) i iznosi 9,25 mg 100 g⁻¹ tla. Na tretmanu s organskom i mineralnom gnojdbom, opskrbljenost fosforom je dobra (17,8 – 18,5 mg 100g⁻¹ tla). Tlo je bogato opskrbljeno kalijem na tretmanu II. s organskom gnojdbom (30,7 mg 100g⁻¹ tla), te dobro opskrbljeno na kontrolnom tretmanu (17,1 mg 100g⁻¹ tla), tretmanu III. s mineralnom gnojdbom (28,5 mg 100g⁻¹ tla), i tretmanu IV. s crnim ugarom (20,5 mg 100g⁻¹ tla).

Tablica 27. Reakcija tla, elektrovodljivost ($\mu\text{S cm}^{-1}$), sadržaj humusa (%) te sadržaj biljci pristupačnog fosfora i kalija u tlu (mg 100 g⁻¹) uz pripadajuće standardne devijacije

| Srednje vrijednosti (n=4) | Reakcija tla, pH | | EC | | Humus | | Opskrbljenost tla hranjivima mg 100 g ⁻¹ tla | | | |
|---------------------------|------------------|---------|---------------------------|---------|-------|---------|---|---------|------------------|---------|
| | 1M KCl 1,2:5 | st.dev. | $\mu\text{S cm}^{-1}$ 1:5 | st.dev. | % | st.dev. | P ₂ O ₅ | st.dev. | K ₂ O | st.dev. |
| 2016. godina | | | | | | | | | | |
| I. | 5,62 | 0,23 | 107 | 0,23 | 1,4 | 0,09 | 11,0 | 3,16 | 15,4 | 0,49 |
| II. | 5,22 | 0,46 | 107 | 0,16 | 2,7 | 0,43 | 19,6 | 1,12 | 29,9 | 4,60 |
| III. | 4,93 | 1,04 | 107 | 0,19 | 2,7 | 0,37 | 19,7 | 2,55 | 25,6 | 1,62 |
| IV. | 5,16 | 1,03 | 107 | 0,28 | 2,3 | 0,28 | 10,1 | 1,49 | 14,7 | 1,03 |
| 2018. godina | | | | | | | | | | |
| I. | 4,89 | 0,39 | 69 | 4,13 | 1,9 | 0,20 | 9,53 | 1,87 | 17,1 | 1,65 |
| II. | 4,67 | 0,51 | 72 | 4,16 | 3,0 | 0,27 | 17,8 | 5,95 | 30,7 | 5,77 |
| III. | 4,74 | 0,24 | 77 | 4,24 | 2,5 | 0,39 | 18,5 | 8,96 | 28,5 | 2,23 |
| IV. | 4,82 | 0,51 | 66 | 4,34 | 2,2 | 0,44 | 9,25 | 0,27 | 20,5 | 5,30 |

Tretmani: I. - kontrola, negnojeno; II. - N250 + P + K + 40 t ha⁻¹ organskog krutog stajskog miješanog gnoja; III. - N300 + P + K; IV. – crni ugar, obrada bez sjetve.

4.3.2. Sadržaj ukupnog ugljika (%) i dušika (%) u tlu

Sadržaj ukupnog ugljika i dušika (%) u tlu prikazan je u tablici 28. Vrijednosti ugljika i dušika se odnose na rezultate istraživanja u 2016. i 2018. godini, početnom i konačnom vremenskom periodu istraživanja, a isti će poslužiti za izračun bilance ugljika u agroekosustavu. Iz tog razloga 2017. godina kao godina u istraživanju nije analizirana jer poznavanje kemijskih značajki tla u toj godini nije bilo relevantno za ulazne i izlazne tokove i izračun bilance ugljika. Kako je već navedeno u materijalima i metodama, 2011.-2014. godina uzeta je kao referentna godina u pogledu kemijskog stanja tla pa su rezultati ukupnog ugljika i dušika također prikazani za 2011.-2014. godinu u tablici 28.

Sadržaj ukupnog ugljika (C, %) u tlu za referentno razdoblje 2011.-2014. kretao se od 0,83 % na kontrolnom tretmanu (I.) do 1,62 % na tretmanu s primijenjenom mineralnom gnojdbom (III.). U istraživanoj 2016. godini, sadržaj ukupnog ugljika kretao se od 0,82 % na kontrolnom tretmanu (I.) do 1,58 % na tretmanu s primijenjenom organskom (II.) i mineralnom (III.) gnojdbom. U istraživanoj 2018. godini, sadržaj ukupnog ugljika kretao se od 0,78 % na kontrolnom tretmanu (I.) do 1,50 % na tretmanu s primijenjenom organskom gnojdbom (II.). Prema vrijednostima koeficijenta varijabilnosti (CV, %), statističkom analizom utvrđeno je da je promjenjivost sadržaja ukupnog ugljika u tlu između različitih tretmana najveća u referentnom periodu od 2011.-2014. godine te iznosi 19,30 %. U referentnom razdoblju te istraživanim godinama, utvrđene su statistički značajne razlike za sadržaj ukupnog ugljika u tlu između pojedinih tretmana (Tablica 28). U referentnom razdoblju, te istraživanoj 2018. godini, organska i mineralna gnojdba značajno su pridonjele povećanju sadržaja ugljika u tlu usporedno sa kontrolnim tretmanom (I.) i tretmanom s crnim ugarom (IV.). U 2016. godini, tretman s primijenjenom organskom gnojdbom (II.), primijenjenom mineralnom gnojdbom (III.) te crni ugar (IV.) statistički se značajno razlikovao od kontrolnog tretmana (I.). Statistički značajne razlike za sadržaj ukupnog ugljika u tlu između različitih godina nisu utvrđene (Tablica 28).

Sadržaj ukupnog dušika (N, %) u tlu za referentno razdoblje 2011.-2014. kretao se od 0,08 % na kontrolnom tretmanu (I.) do 0,16 % na tretmanu s primijenjenom mineralnom gnojdbom (III.). U istraživanoj 2016. godini, sadržaj ukupnog dušika kretao se od 0,10 % na kontrolnom tretmanu (I.) do 0,17 % na tretmanu s primijenjenom mineralnom (III.) gnojdbom. U istraživanoj 2018. godini, sadržaj ukupnog dušika kretao se od 0,10 % na kontrolnom tretmanu (I.) do 0,15 % na tretmanu s primijenjenom organskom (II.) i mineralnom gnojdbom (III.). Prema vrijednostima koeficijenta varijabilnosti (CV, %), statističkom analizom utvrđeno je da je promjenjivost sadržaja ukupnog dušika u tlu između različitih tretmana najveća u referentnom periodu od 2011.-2014. godine te iznosi 19,68 %. U referentnom razdoblju te istraživanim godinama, tlo je umjereno do dobro opskrbljeno sadržajem ukupnog dušika. Također, u spomenutim vremenskim periodima, utvrđene su statistički značajne razlike za sadržaj ukupnog dušika u tlu između pojedinih tretmana (Tablica 28). U referentnom razdoblju te istraživanim godinama, utvrđene su statistički značajne razlike za sadržaj ukupnog dušika u tlu između pojedinih tretmana (Tablica 28). U referentnom razdoblju, te istraživanoj 2018. godini, organska i mineralna gnojdba značajno su pridonjele povećanju sadržaja dušika u tlu usporedno sa kontrolnim tretmanom (I.) i tretmanom s crnim ugarom (IV.). U 2016. godini, tretman s primijenjenom organskom gnojdbom (II.), primijenjenom mineralnom gnojdbom (III.) te crni ugar (IV.) statistički se značajno razlikovao od kontrolnog tretmana (I.). Statistički značajne razlike za sadržaj ukupnog dušika u tlu između različitih godina utvrđene su između

pojedinih tretmana za referentno razdoblje te 2018. godinu, dok u 2016. godini statistički značajne razlike nisu zabilježene (Tablica 28).

Tablica 28. Sadržaj ukupnog ugljika (%) i dušika (%) u tlu za referentno razdoblje 2011.-2014. te istraživanu 2016. i 2018. godinu

| Tretman | Ukupni C, % | | | Ukupni N, % | | |
|---------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | 2011.-2014. | 2016. | 2018. | 2011.-2014. | 2016. | 2018. |
| I. | 0,83 Ca | 0,82 Ba | 0,78 Ca | 0,08 Cb | 0,10 Ba | 0,10 Ba |
| II. | 1,59 Aa | 1,58 Aa | 1,50 Aa | 0,15 Aa | 0,16 Aa | 0,15 Aa |
| III. | 1,62 Aa | 1,58 Aa | 1,49 Aa | 0,16 Aa | 0,17 Aa | 0,15 Aa |
| IV. | 1,33 Ba | 1,31 Aa | 1,09 Ba | 0,13 Bab | 0,14 Aa | 0,11 Bb |
| CV, % | 19,30 | 16,23 | 15,54 | 19,68 | 12,64 | 11,50 |

Tretmani: I. - kontrola, negnojeno; II. - N250 + P + K + 40 t ha⁻¹ organskog krutog stajskog miješanog gnoja; III. - N300 + P + K; IV. – crni ugar, obrada bez sjetve.

*Srednje vrijednosti označene istim velikim slovima između tretmana statistički se značajno ne razlikuju; srednje vrijednosti označene istim malim slovima između različitih godina statistički se značajno ne razlikuju (SAS 9.1, p < 0,05)

Rezultati analize varijance utjecaja različitih gnojidbenih tretmana za referentni period (2011.-2014.) te početnu (2016.) i završnu (2018.) godinu istraživanja na varijabilnost sadržaja ukupnog ugljika (%) prikazani su u tablici 29. Iz navedene tablice može se uočiti da postoji značajna varijabilnost u sadržaju ukupnog ugljika među gnojidbenim tretmanima za referentno razdoblje od 2011.-2014. (p= >0,001), te također za istraživanu 2016. (p=0,0009) i 2018. (p=0,0004) godinu.

Tablica 29. Rezultati analize varijance srednjih vrijednosti sadržaja ukupnog ugljika (%) u tlu s obzirom na tretmane za referentno razdoblje 2011.-2014. te istraživanu 2016. i 2018. godinu (Fisher, LSD)

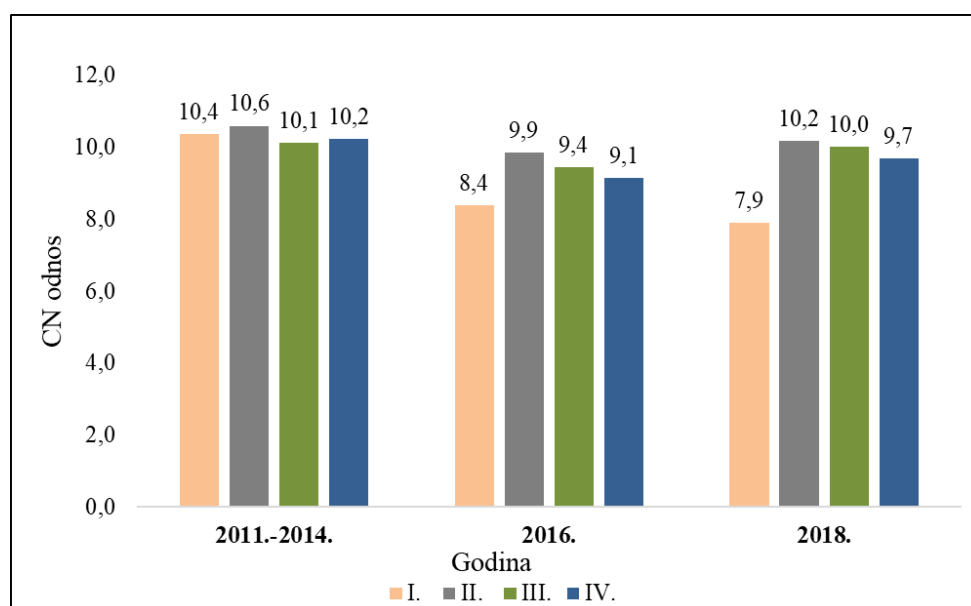
| Godina | Pr > F | LSD |
|---------------------------|--------|--------|
| Ukupni ugljik, (%) | | |
| 2011.-2014. | >0,001 | 0,1632 |
| 2016. | 0,0009 | 0,3307 |
| 2018. | 0,0004 | 0,2912 |

Rezultati analize varijance utjecaja različitih gnojidbenih tretmana za referentni period (2011.-2014.) te početnu (2016.) i završnu (2018.) godinu istraživanja na varijabilnost sadržaja ukupnog dušika (%) prikazani su u tablici 30. Iz navedene tablice može se uočiti da postoji značajna varijabilnost u sadržaju ukupnog dušika među gnojidbenim tretmanima za referentno razdoblje od 2011.-2014. (p= >0,001), te također za istraživanu 2016. (p=0,0006) i 2018. (p=0,0006) godinu.

Tablica 30. Rezultati analize varijance srednjih vrijednosti sadržaja ukupnog dušika (%) u tlu s obzirom na tretmane za referentno razdoblje 2011.-2014. te istraživanu 2016. i 2018. godinu (Fisher, LSD)

| Godina | Pr > F | LSD |
|--------------------------|--------|--------|
| Ukupni dušik, (%) | | |
| 2011.-2014. | >0,001 | 0,0159 |
| 2016. | 0,0006 | 0,0277 |
| 2018. | 0,0006 | 0,0225 |

CN odnos u tlu na dubini 0-30 cm u referentnoj 2011.-2014. godini kretao se od 10,1 na tretmanu III. s primijenjenom mineralnom gnojdbom do 10,6 na tretmanu II. s primijenjenom organskom gnojdbom. U 2016. godini, CN odnos u tlu kretao se od 8,4 na kontrolnom tretmanu (I.) do 9,9 na tretmanu II. s primijenjenom organskom gnojdbom. U 2018. godini, CN odnos kretao se od 7,9 na kontrolnom tretmanu (I.) do 10,2 na tretmanu s primijenjenom organskom gnojdbom (Slika 41). Prosječan CN odnos tijekom referentnog razdoblja iznosio je 10,3 dok je za istraživanu 2016.godinu iznosio 9,2 te 9,5 za istraživanu 2018. godinu.



Slika 41. CN odnos u tlu za referentno razdoblje 2011.-2014. te istraživanu 2016. i 2018. godinu (Tretmani: I. - kontrola, negnojeno; II. - N250 + P + K + 40 t ha⁻¹ organskog krutog stajskog miješanog gnoja; III. - N300 + P + K; IV. – crni ugar, obrada bez sjetve)

4.3.3. Mikrobiološka svojstva tla

Mikrobiološka analiza tla, uključujući ukupan broj mikroorganizama ($\times 10^6$ CFU/g) i ukupan broj gljiva ($\times 10^4$ CFU/g) prikazana je u tablici 31. Također, u tablici su prikazani i rezultati zastupljenosti najznačajnijih funkcionalnih skupina mikroorganizama: amonifikatora ($\times 10^5$ CFU/g), celulolitičkih bakterija (%), celulolitičkih gljiva (%) te dehidrogenazna aktivnost ($\mu\text{g TPF g}^{-1} \text{ ST } 16\text{h}^{-1}$) za sva četiri tretmana za dva različita datuma uzorkovanja.

Ukupan broj mikroorganizama kreće se od $6,9 \times 10^6$ CFU/g (IV. tretman) u I. uzorkovanju do $18,1 \times 10^6$ CFU/g (II. tretman) u II. uzorkovanju. U I. uzorkovanju, utvrđene su statistički značajne razlike između istraživanih tretmana za ukupan broj mikroorganizama, dok u II. uzorkovanju, statistički značajnih razlika između pojedinih tretmana nije bilo. Ako usporedimo prvo i drugo uzorkovanje možemo vidjeti porast brojnosti mikroorganizama na svim tretmanima. Ukupan broj gljiva kreće se od $6,5 \times 10^4$ CFU/g (IV. tretman) u II. uzorkovanju do $18,9 \times 10^4$ CFU/g (II. tretman) također u II. uzorkovanju. U I. uzorkovanju, utvrđene su statistički značajne razlike između istraživanih tretmana za ukupan broj gljiva, dok u II. uzorkovanju statistički značajnih razlika između pojedinih tretmana nije bilo. Ako usporedimo prvo i drugo uzorkovanje možemo vidjeti da se brojnost gljiva smanjila na III. i IV. Tretmanu (Tablica 31).

Zastupljenost amonifikatora kreće se od $6,9 \times 10^5$ CFU/g (III. tretman) u II. uzorkovanju, do $24,0 \times 10^5$ CFU/g (I. tretman) također u II. uzorkovanju. U I. uzorkovanju, utvrđene su statistički značajne razlike između istraživanih tretmana za sadržaj amonifikatora, dok u II. uzorkovanju statistički značajnih razlika između pojedinih tretmana nije bilo. Ako usporedimo prvo i drugo uzorkovanje, možemo vidjeti da je u drugom uzorkovanju porastao broj amonifikatora na tretmanima I. i II. (Tablica 31).

Postotak celulolitičkih bakterija kretao se od 6,7 % na tretmanu III. u II. uzorkovanju do 28 % na tretmanu IV. u I. uzorkovanju. Zastupljenost celulolitičkih bakterija snižena je na svim tretmanima u II. uzorkovanju u odnosu na I. uzorkovanje. Statistički značajne razlike između istraživanih tretmana za postotak celulolitičkih bakterija utvrđene su u I. uzorkovanju, dok u II. uzorkovanju statističkih razlika nije bilo (Tablica 31).

U pogledu celulolitičkih gljiva, postotak se kretao od 12,3 % (III. tretman) u II. uzorkovanju do 40,7 % (I. tretman) također u II. uzorkovanju. U I. uzorkovanju, statistički značajne razlike između istraživanih tretmana za postotak celulolitičkih gljiva nisu utvrđene, dok su u II. uzorkovanju statistički značajne razlike prisutne između pojedinih tretmana. Ako usporedimo prvo i drugo uzorkovanje, možemo vidjeti da je zastupljenost celulolitičkih gljiva snižena na svim tretmanima osim na tretmanu I. gdje je povećana (Tablica 31).

Metabolička aktivnost mikroorganizama u tlu, odnosno dehidrogenazna aktivnost kretala se od 5,6 $\mu\text{g TPF g}^{-1} \text{ dm } 16\text{h}^{-1}$ (IV. tretman) u II. uzorkovanju do 33,0 $\mu\text{g TPF g}^{-1} \text{ dm } 16\text{h}^{-1}$ (II. tretman) u I. uzorkovanju. Statistički značajne razlike između istraživanih tretmana za dehidrogenaznu aktivnost u tlu između pojedinih tretmana utvrđene su u II. uzorkovanju. Također, u II. uzorkovanju, uočljivo je sniženje dehidrogenazne aktivnosti na gotovo svim tretmanima izuzev tretmana III (Tablica 31).

Tablica 31. Mikrobiološka analiza tla - ukupan broj mikroorganizama ($\times 10^6$ CFU/g), ukupan broj gljiva ($\times 10^4$ CFU/g), amonifikatori ($\times 10^5$ CFU/g), celulolitičke bakterije (%), celulolitičke gljive (%), dehidrogenazna aktivnost ($\mu\text{g TPF g}^{-1} \text{ ST } 16\text{h}^{-1}$)

| I. uzorkovanje (0-30 cm) 06.04.2016. | | | | | | |
|--|--|---|--------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|---|
| Tretman | Ukupan broj mikroorg. ($\times 10^6$ CFU/g) | Ukupan broj gljiva ($\times 10^4$ CFU/g) | Amonifikatori ($\times 10^5$ CFU/g) | Celulolitičke bakterije (%) | Celulolitičke gljive (%) | Dehidrogenazna aktivnost ($\mu\text{g TPF g}^{-1} \text{ ST } 16\text{h}^{-1}$) |
| I. | 8,8 B | 8,9 A | 8,3 A | 27,0 A | 22,3 A | 29,8 A |
| II. | 15,6 A | 12,8 B | 10,1 A | 17,0 A | 28,7 A | 33,0 A |
| III. | 10,1 A | 17,1 A | 14,0 A | 14,0 A | 37,0 A | 13,5 A |
| IV. | 6,9 B | 17,4 A | 14,0 A | 28,0 A | 28,3 A | 12,5 A |
| LSD | 10,06 | 10,34 | 8,49 | 14,31 | 17,78 | 13,56 |
| II. uzorkovanje (0-30 cm) 23.06.2016. | | | | | | |
| I. | 17,3 A | 14,1 A | 24,0 B | 7,3 B | 40,7 A | 26,7 A |
| II. | 18,1 A | 18,9 A | 20,9 B | 16,0 A | 27,7 A | 23,0 A |
| III. | 12,3 A | 13,8 A | 6,9 A | 6,7 A | 12,3 B | 17,9 A |
| IV. | 13,0 A | 6,5 A | 8,0 A | 26,3 A | 13,3 A | 5,6 B |
| LSD | 6,21 | 7,43 | 7,25 | 28,15 | 22,41 | 5,96 |

Tretmani: I. - kontrola, negnojeno; II. - N250 + P + K + 40 t ha⁻¹ organskog krutog stajskog miješanog gnoja; III. - N300 + P + K; IV. - crni ugar, obrada bez sjetve.

*Srednje vrijednosti mikrobioloških svojstva tla označene istim slovima između tretmana statistički se značajno ne razlikuju (SAS 9.1; $p < 0,05$).

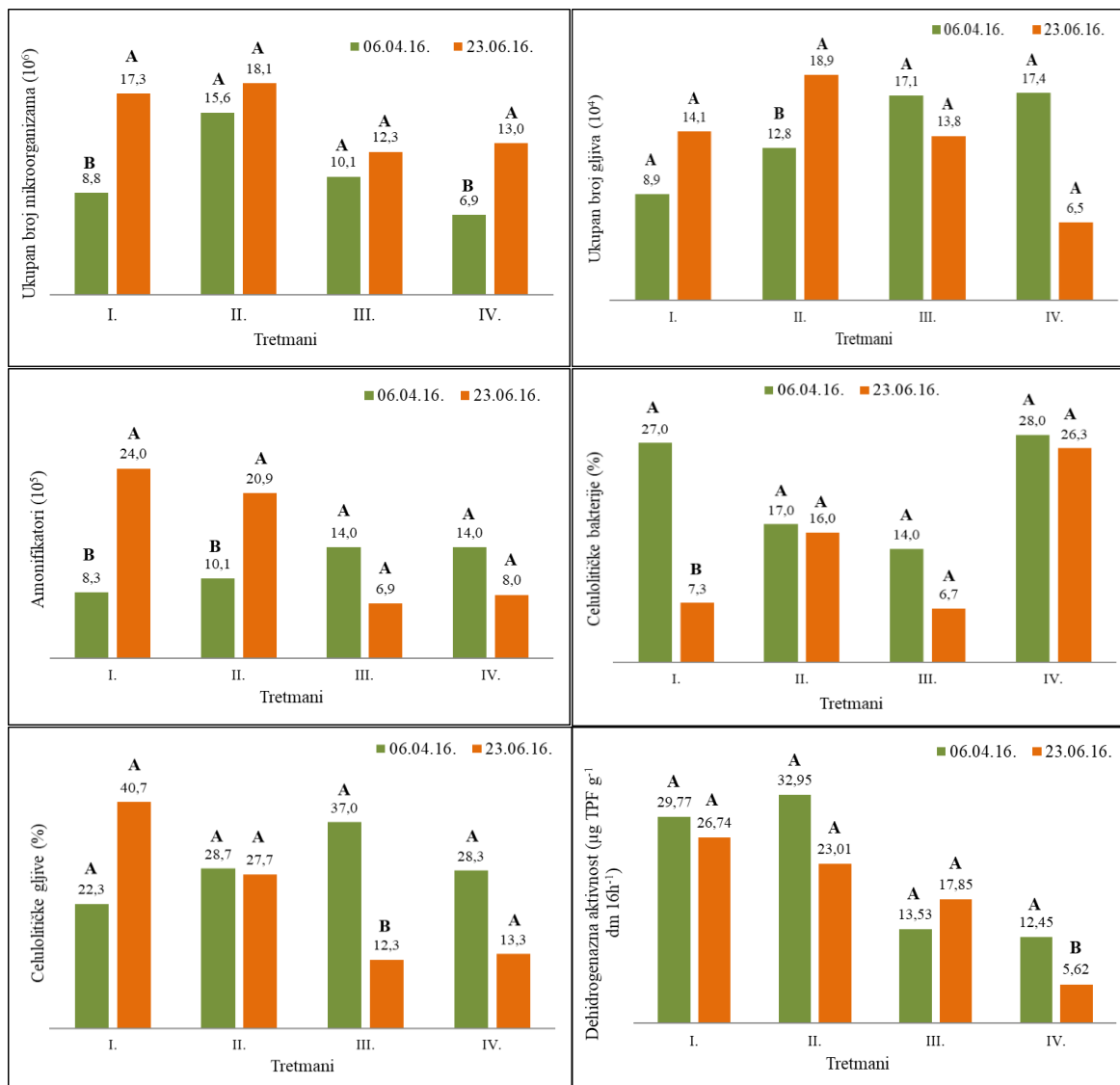
Rezultati analize varijance utjecaja različitih gnojidbenih tretmana na mikrobiološka svojstva tla prikazani su u tablici 32. Iz navedene tablice može se uočiti da postoji značajna varijabilnost u sadržaju ukupnog broja mikroorganizama na tretmanu I. ($p=0,0208$) te na tretmanu IV. ($p=0,0113$). Značajna varijabilnost u sadržaju ukupnog broja gljiva zabilježena je na tretmanu II. ($p=0,0352$), dok je značajna varijabilnost u sadržaju amonifikatora zabilježena na tretmanu I. ($p=0,0119$) te tretmanu II. ($p=0,0003$). Za dehidrogenaznu aktivnost značajna varijabilnost postoji na tretmanu IV. ($p=0,0066$), a za sadržaj celulolitičkih bakterija na tretmanu I. ($p=0,0156$) te celulolitičkih gljiva na tretmanu III. ($p=0,0360$).

Tablica 32. Rezultati analize varijance mikrobioloških svojstava tla između dva datuma uzorkovanja po tretmanima (Fisher, LSD)

| Tretman | Pr > F | LSD |
|---|--------|------|
| Ukupan broj mikroorganizama, x10⁶ | | |
| I. | 0,0208 | 6,7 |
| II. | 0,5626 | 9,9 |
| III. | 0,7194 | 13,8 |
| IV. | 0,0113 | 4,2 |
| Ukupan broj gljiva, x10⁴ | | |
| I. | 0,1664 | 8,2 |
| II. | 0,0352 | 5,5 |
| III. | 0,4056 | 9,2 |
| IV. | 0,1275 | 15,1 |
| Amonifikatori, x10⁵ | | |
| I. | 0,0119 | 10,8 |
| II. | 0,0003 | 3,5 |
| III. | 0,1836 | 11,6 |
| IV. | 0,0859 | 7,2 |
| Celulolitičke bakterije, % - 14. dan | | |
| I. | 0,0156 | 14,4 |
| II. | 0,9265 | 25,4 |
| III. | 0,1815 | 11,9 |
| IV. | 0,9201 | 39,0 |
| Celulolitičke gljive, % - 14.dan | | |
| I. | 0,0622 | 19,6 |
| II. | 0,9302 | 26,8 |
| III. | 0,0360 | 22,4 |
| IV. | 0,1373 | 21,4 |
| Dehidrogenazna aktivnost (µg TPF g⁻¹ ST 16h⁻¹) | | |
| I. | 0,5645 | 12,2 |
| II. | 0,2481 | 19,0 |
| III. | 0,0907 | 5,2 |
| IV. | 0,0066 | 4,1 |

Tretmani: I. - kontrola, negnojeno; II. - N250 + P + K + 40 t ha⁻¹ organskog krutog stajskog miješanog gnoja; III. - N300 + P + K; IV. – crni ugar, obrada bez sjetve.

Srednje vrijednosti mikrobioloških svojstva tla između dva datuma uzorkovanja prikazane su na slici 42. Kada usporedimo I. i II. uzorkovanje, za ukupni broj mikroorganizama (x10⁶ CFU/g), statistički značajna razlika zabilježena je na kontrolnom tretmanu (I.) te na tretmanu s crnim ugarom (IV.). Ukupan broj gljiva (x10⁴ CFU/g) statistički se značajno razlikovao između tretmana s primijenjenom organskom gnojdbom (II.), dok za ostale tretmane statistički značajna razlika nije postojala. Za amonifikatore (x 10⁵), statistički značajna razlika zabilježena je na kontrolnom tretmanu (I.) te na tretmanu s primijenjenom organskom gnojdbom (II.). Postotak celulolitičkih bakterija (%) statistički se značajno razlikovao između kontrolnog tretmana (I.), dok je za postotak celulolitičkih gljiva (%) statistički značajna razlika determinirana na tretmanu s primijenjenom mineralnom gnojdbom (III.). Kod dehidrogenazne aktivnosti (µg TPF g⁻¹ ST 16h⁻¹) statistički značajna razlika zabilježena je samo na tretmanu IV.



Slika 42. Ukupan broj mikroorganizama ($\times 10^6$), Ukupan broj gljiva ($\times 10^4$), Amonifikatori ($\times 10^5$), Celulolitičke bakterije (%), Celulolitičke gljive (%), Dehidrogenazna aktivnost ($\mu\text{g TPF g}^{-1} \text{ dm}^{-1} \text{ 16h}^{-1}$). (Srednje vrijednosti mikrobioloških svojstva tla označene istim slovima između dva datuma uzorkovanja po tretmanima statistički se značajno ne razlikuju (SAS 9.1, $p < 0,05$).

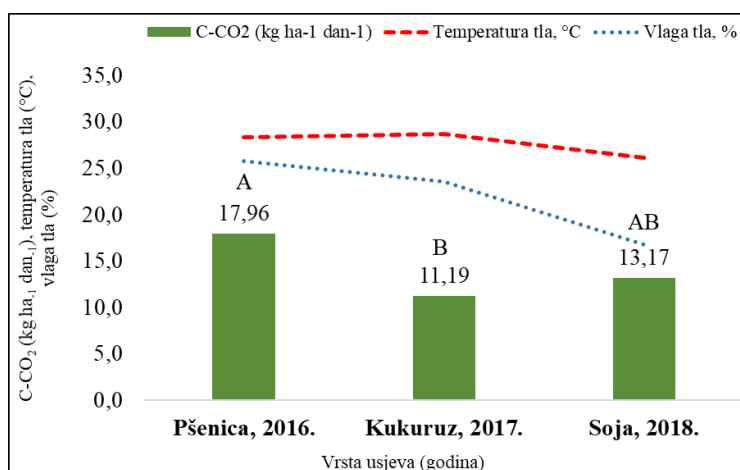
4.4. EMISIJA UGLJIKOVOG DIOKSIDA IZ TLA

Tijekom istraživanog razdoblja ukupno je provedeno 24 mjerenja koncentracije i izračuna emisije C-CO₂ iz tla te agroekoloških čimbenika uključujući temperaturu tla na 10 cm dubine te količinu vode u tlu na 10 cm dubine. Od ukupno 24 mjerenja, u istraživanoj 2016. godini provedeno ih je 8 (travanj, svibanj, lipanj, srpanj 2x, kolovoz, ruj, studeni), u 2017. godini također je provedeno 8 mjerenja (travanj, svibanj, lipanj, srpanj, kolovoz, ruj, listopad,

studeni) te 8 u 2018. godini (siječanj, ožujak, travanj, svibanj, lipanj, srpanj, kolovoz, rujan). Zbog nepovoljnih vremenskih uvjeta, uključujući snježni pokrivač, smrznuto ili prevlažno tlo, provedba mjerenja emisija u ostalim mjesecima istraživanog razdoblja nije bila moguća.

4.4.1. Prosječne godišnje vrijednosti emisije ugljikovog dioksida iz tla te agroekoloških čimbenika

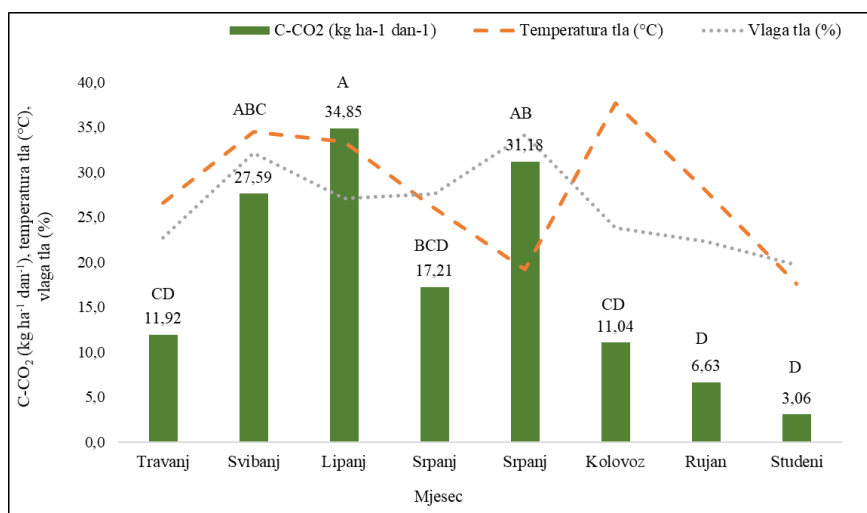
Prosječne godišnje vrijednosti emisije C-CO₂ iz tla po istraživanim godinama odnosno kulturama i prosječne godišnje vrijednosti agroekoloških čimbenika prikazane su na slici 43. Prosječna godišnja temperatura tla je u 2016. godini iznosila 28,32 °C, u 2017. godini 28,61 °C te u 2018. godini 26,09 °C. Prosječna godišnja vrijednost vlage u tlu iznosila je 25,76 % u 2016. godini, 23,52 % u 2017. godini te 16,74 % u 2018. godini. Prosječna godišnja emisija C-CO₂ iz tla iznosila je 17,96 kg ha⁻¹ dan⁻¹ u 2016. godini, 11,19 kg ha⁻¹ dan⁻¹ u 2017. godini te 13,17 kg ha⁻¹ dan⁻¹ u 2018. godini. Statistički značajna razlika u prosječnim godišnjim vrijednostima emisije C-CO₂ iz tla zabilježena je između 2016. i 2017. godine.



Slika 43. Prosječne godišnje vrijednosti emisije C-CO₂ iz tla i agroekoloških čimbenika u vegetaciji ozime pšenice, kukuruza i soje (n=32) (Srednje vrijednosti emisije C-CO₂ iz tla između istraživanih godina označene istim slovima statistički se značajno ne razlikuju (SAS 9.1, p < 0,05))

4.4.2. Prosječne mjesečne vrijednosti emisije ugljikovog dioksida iz tla te agroekoloških čimbenika

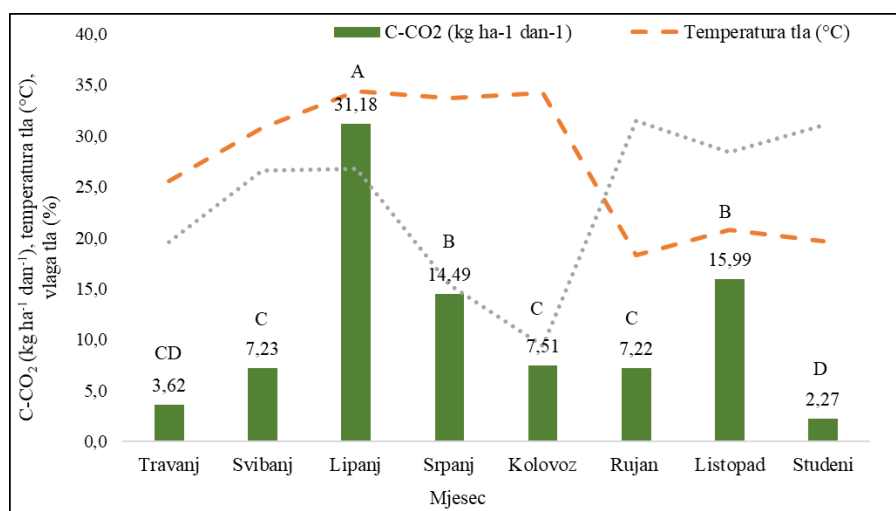
Prosječne mjesečne vrijednosti emisije C-CO₂ iz tla te agroekoloških čimbenika tijekom vegetacije ozime pšenice u 2016. godini prikazane su na slici 44. Srednje navedene vrijednosti odnose se na utvrđeni prosjek izmjenog C-CO₂ na 4 gnojdbena tretmana u 3 ponavljanja. Raspon prosječnih temperatura tla u 2016. godini kretao se od 17,6 °C do 37,7 °C. Prosječna vrijednost vlage u tlu za 2016. godinu kretala se od 19,7 % do 34,1 %. Prosječna mjesečna vrijednost emisije C-CO₂ statistički se značajno razlikovala u mjesecima rasta i bujanja vegetacije (svibanj, lipanj, srpanj) usporedno s hladnijim mjesecima ili mjesecima bez vegetacije (kolovoz, rujan, studeni, travanj). Tako, najmanja zabilježena emisija C-CO₂ u promatranom periodu iznosila je 3,06 kg ha⁻¹ dan⁻¹ u studenom i značajno se razlikovala od najveće zabilježene emisije C-CO₂ u lipnju koja je iznosila 34,85 kg ha⁻¹ dan⁻¹ u lipnju.



Slika 44. Prosječne mjesečne emisije C-CO₂ iz tla i agroekoloških čimbenika tijekom vegetacije ozime pšenice (2016. godina) (Srednje vrijednosti emisije C-CO₂ iz tla između istraživanih mjeseci označene istim slovima statistički se značajno ne razlikuju ($Pr > F = 0,0046$; $LSD = 17,21$))

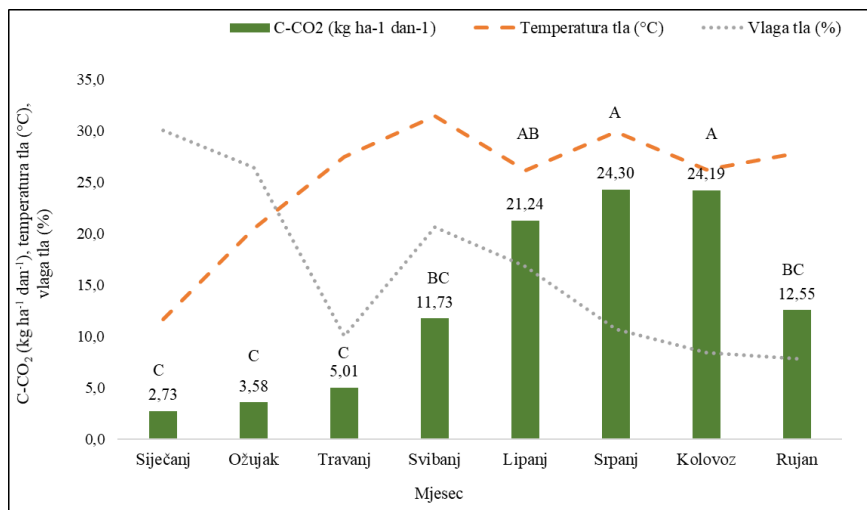
Prosječne mjesečne vrijednosti emisije C-CO₂ iz tla te agroekoloških čimbenika tijekom vegetacije kukuruza u 2017. godini prikazane su na slici 45. Srednje navedene vrijednosti odnose se na utvrđeni prosjek izmjenog C-CO₂ na 4 gnojdbena tretmana u 3 ponavljanja. Raspon prosječnih temperatura tla u 2017. godini kretao se od 18,3 °C do 34,4 °C. Prosječna vrijednost vlage u tlu za 2017. godinu kretala se od 9,4 % do 31,5 %. Prosječna mjesečna vrijednost emisije C-CO₂ zabilježila je svoj pik u lipnju u iznosu od 31,18 kg ha⁻¹ dan⁻¹, te se

statistički značajno razlikovala od svih ostalih mjeseci. Najnižu prosječnu mjesečnu vrijednost emisije C-CO₂ zabilježio je studeni u iznosu od 2,27 kg ha⁻¹ dan⁻¹ koji se značajno razlikovao od gotovo svih mjeseci, izuzev travnja.



Slika 45. Prosječne mjesečne emisije C-CO₂ iz tla i agroekoloških čimbenika tijekom vegetacije kukuruza (2017. godina) (Srednje vrijednosti emisije C-CO₂ iz tla između istraživanih mjeseci označene istim slovima statistički se značajno ne razlikuju (Pr>F=<0,001; LSD=4,32)

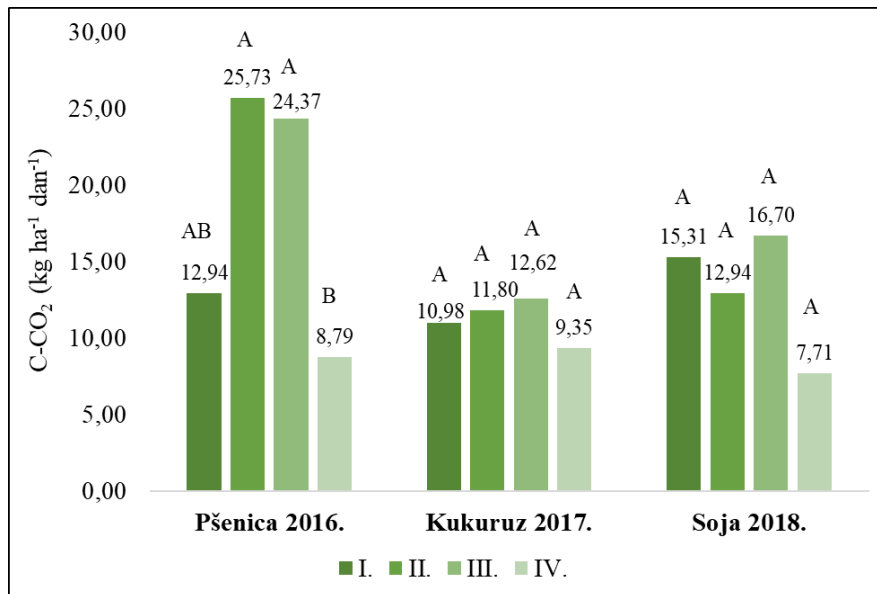
Prosječne mjesečne vrijednosti emisije C-CO₂ iz tla te agroekoloških čimbenika tijekom vegetacije soje u 2018. godini prikazane su na slici 46. Srednje navedene vrijednosti odnose se na utvrđeni prosjek izmjerenog C-CO₂ na 4 gnojidbena tretmana u 3 ponavljanja. Raspon prosječnih temperatura tla u 2018. godini kretao se od 11,7 °C do 31,4 °C. Prosječna vrijednost vlage u tlu za 2018. godinu kretala se od 7,9 % do 30,0 %. Prosječna mjesečna vrijednost emisije C-CO₂ iz tla zabilježila je svoju najveću vrijednost u srpnju (24,30 kg ha⁻¹ dan⁻¹) i statistički se značajno razlikovala od mjeseci bez prisutne vegetacije (siječanj, ožujak i travanj). Najniža prosječna mjesečna vrijednost emisije C-CO₂ iz tla zabilježena je u siječnju, u iznosu od 2,73 kg ha⁻¹ dan⁻¹, te se statistički značajno razlikovala od ljetnih mjeseci – lipnja, srpnja i kolovoza.



Slika 46. Prosječne mjesečne emisije C-CO₂ iz tla i agroekoloških čimbenika tijekom vegetacije soje (2018. godina) (Srednje vrijednosti emisije C-CO₂ iz tla između istraživanih mjeseci označene istim slovima statistički se značajno ne razlikuju ($P_{r>F}=0,0002$; $LSD=10,26$))

4.4.3. Emisije ugljikovog dioksida iz tla prema tretmanima gnojidbe

Prosječne godišnje vrijednosti emisije C-CO₂ iz tla po tretmanima za svaku od istraživanih kultura prikazane su na slici 47. U prvoj istraživanoj godini, u vegetaciji ozime pšenice, prosječne godišnje vrijednosti emisije C-CO₂ iz tla kretale su se od 8,79 kg ha⁻¹ dan⁻¹ na tretmanu IV. do 25,73 kg ha⁻¹ dan⁻¹ na tretmanu II., gdje su zabilježene i statistički značajne razlike između pojedinih tretmana. U drugoj istraživanoj godini, u vegetaciji kukuruza, prosječne godišnje vrijednosti emisije C-CO₂ iz tla kretale su se od 9,35 kg ha⁻¹ dan⁻¹ na tretmanu IV. do 12,62 kg ha⁻¹ dan⁻¹ na tretmanu III., a razlika između tretmana nije statistički značajna. U trećoj istraživanoj godini, u vegetaciji soje, prosječne godišnje vrijednosti emisije C-CO₂ iz tla kretale su se od 7,71 kg ha⁻¹ dan⁻¹ na tretmanu IV. do 16,70 kg ha⁻¹ dan⁻¹ na tretmanu III., a razlika između tretmana nije statistički značajna.



Slika 47. Prosječne godišnje vrijednosti emisije C-CO₂ iz tla po tretmanima u vegetaciji ozime pšenice, kukuruza i soje (Tretmani: I. - kontrola, negnojeno; II. - N250 + P + K + 40 t ha⁻¹ organskog krutog stajskog miješanog gnoja; III. - N300 + P + K; IV. – crni ugar, obrada bez sjetve) (Srednje vrijednosti emisije C-CO₂ iz tla između istraživanih tretmana za svaku godinu istraživanja označene istim slovima statistički se značajno ne razlikuju (SAS 9.1, p < 0,05)

4.4.3.1. Ozima pšenica

U tablici 33 prikazana je osnovna statistička analiza za varijabilnost emisija C-CO₂ u vegetaciji ozime pšenice prema gnojdbenim tretmanima za pojedine mjesece u istraživanom razdoblju. Prikazane su minimalne i maksimalne utvrđene vrijednosti emisija C-CO₂ uz standardnu devijaciju (Std. dev.) i koeficijente varijacije (CV). Pojedinačne vrijednosti emisija C-CO₂ na kontrolnom tretmanu (I.) varirale su od 3,4 kg ha⁻¹ dan⁻¹ do 36,5 kg ha⁻¹ dan⁻¹. Izmjerene vrijednosti emisija C-CO₂ u prosjeku su varirale s 19,7 %, a varijabilnost se mijenjala ovisno o mjesecu u kojem je mjerenje provedeno. Pojedinačne vrijednosti emisija C-CO₂ na tretmanu s organskom gnojdbom (II.) varirale su od 2,3 kg ha⁻¹ dan⁻¹ do 53,8 kg ha⁻¹ dan⁻¹ s prosječnim koeficijentom varijacije od 16,5 %. Pojedinačne vrijednosti emisija C-CO₂ na tretmanu s mineralnom gnojdbom (III.) varirale su od 2,3 kg ha⁻¹ dan⁻¹ do 81,5 kg ha⁻¹ dan⁻¹, s prosječnom vrijednošću koeficijenta varijacije od 28,5 %. Na tretmanu s crnim ugarom (IV.), pojedinačne vrijednosti emisija C-CO₂ varirale su od 0,1 kg ha⁻¹ dan⁻¹ do 37,0 kg ha⁻¹ dan⁻¹, s prosječnom vrijednošću koeficijenta varijacije od 32,7 %.

Tablica 33. Osnovna statistička analiza za varijabilnost emisija C-CO₂ u vegetaciji ozime pšenice prema gnojidbenim tretmanima za ispitivane mjeseci u istraživanom razdoblju

| Mjesec | Minimum, | Maksimum, | Std.dev., | CV, | Minimum, | Maksimum, | Std.dev., | CV, |
|---------------------|--|--|--|--------------------|--|--|--|-------------|
| | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | % | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | % |
| Tretman I. | | | | Tretman II. | | | | |
| Travanj | 9,9 | 12,1 | 1,3 | 11,2 | 17,6 | 28,6 | 5,8 | 24,1 |
| Svibanj | 16,3 | 19,5 | 1,9 | 10,2 | 38,0 | 42,3 | 2,2 | 5,4 |
| Lipanj | 21,4 | 36,5 | 7,5 | 26,3 | 41,8 | 49,3 | 3,9 | 8,4 |
| Srpanj | 9,9 | 19,9 | 5,7 | 34,6 | 26,5 | 26,5 | 0,0 | 0,0 |
| Srpanj | 5,6 | 7,8 | 1,3 | 18,2 | 29,1 | 53,8 | 12,5 | 29,3 |
| Kolovoz | 7,5 | 16,0 | 4,3 | 36,4 | 9,6 | 13,9 | 2,1 | 18,2 |
| Rujan | 5,5 | 7,7 | 1,3 | 20,4 | 10,0 | 12,2 | 1,3 | 11,9 |
| Studeni | 3,4 | 3,4 | 0,0 | 0,0 | 2,3 | 4,6 | 1,3 | 34,6 |
| Prosjeck | - | - | - | 19,7 | - | - | - | 16,5 |
| Mjesec | Minimum, | Maksimum, | Std.dev., | CV, | Minimum, | Maksimum, | Std.dev., | CV, |
| | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | % | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | % |
| Tretman III. | | | | Tretman IV. | | | | |
| Travanj | 7,7 | 16,5 | 4,4 | 36,4 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 43,3 |
| Svibanj | 38,0 | 45,6 | 3,9 | 9,5 | 9,8 | 11,9 | 1,3 | 11,9 |
| Lipanj | 39,7 | 81,5 | 23,6 | 43,3 | 7,5 | 13,9 | 3,3 | 31,6 |
| Srpanj | 14,4 | 24,3 | 5,0 | 25,5 | 5,5 | 7,7 | 1,3 | 20,4 |
| Srpanj | 32,5 | 56,0 | 12,1 | 26,4 | 17,9 | 37,0 | 10,0 | 34,2 |
| Kolovoz | 7,5 | 13,9 | 3,7 | 31,5 | 7,5 | 11,8 | 2,5 | 27,7 |
| Rujan | 5,5 | 7,7 | 1,3 | 20,4 | 2,2 | 5,3 | 1,9 | 57,7 |
| Studeni | 2,3 | 4,6 | 1,3 | 34,6 | 1,1 | 2,3 | 0,7 | 34,6 |
| Prosjeck | - | - | - | 28,5 | - | - | - | 32,7 |

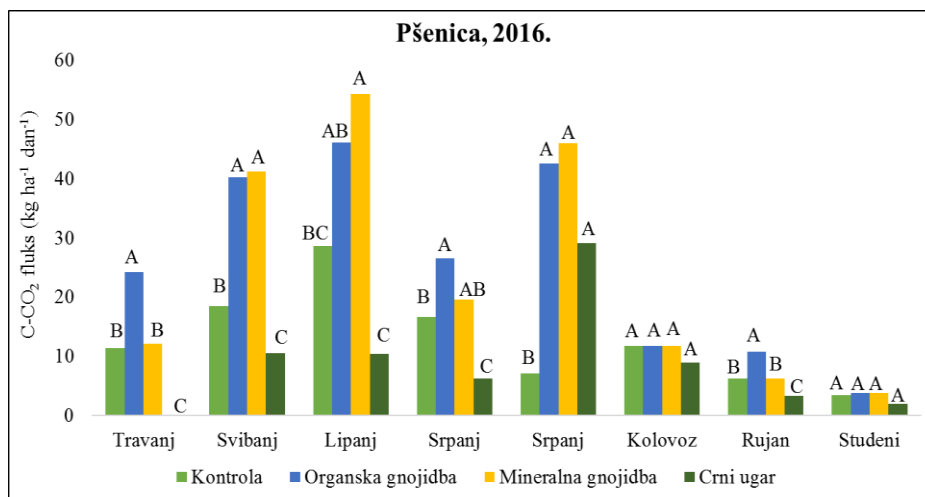
Tretmani: I. - kontrola, negnojeno; II. - N250 + P + K + 40 t ha⁻¹ organskog krutog stajskog miješanog gnoja; III. - N300 + P + K; IV. – crni ugar, obrada bez sjetve

Rezultati analize varijance utjecaja različitih tretmana na varijabilnost emisije C-CO₂ iz tla za istraživanu 2016. godinu (travanj-studeni) prikazani su u tablici 34. Iz navedene tablice može se uočiti da postoji značajna varijabilnost u emisijama C-CO₂ iz tla u pojedinim mjesecima istraživanja uzrokovana gnojidbenim tretmanima [(travanj (p=0,0004), svibanj (p=<0,001), lipanj (p=0,011), srpanj (p=0,001), srpanj (p=0,005) i rujana (p=0,001)].

Tablica 34. Rezultati analize varijance za vrijednosti emisije C-CO₂ iz tla u vegetaciji ozime pšenice prema gnojidbenim tretmanima za pojedine mjeseci u istraživanom razdoblju

| Mjesec | SS | Pr > F | LSD |
|---------|---------|--------|-------|
| Travanj | 880,52 | 0,0004 | 6,97 |
| Svibanj | 2161,20 | <0,001 | 4,71 |
| Lipanj | 3435,15 | 0,011 | 23,76 |
| Srpanj | 635,98 | 0,001 | 7,25 |
| Srpanj | 2795,29 | 0,005 | 18,9 |
| Kolovoz | 18,25 | 0,649 | 6,14 |
| Rujan | 83,12 | 0,001 | 2,75 |
| Studeni | 7,45 | 0,131 | 1,99 |

Slika 48. prikazuje kretanje prosječnih vrijednosti emisije C-CO₂ iz tla ovisno o tretmanima gnojidbe tijekom istraživanih mjeseci u vegetaciji ozime pšenice. Prosječna vrijednost emisije C-CO₂ iz tla kretala se od 1,91 kg ha⁻¹ dan⁻¹ u studenome, zabilježena na tretmanu IV., do 54,33 kg ha⁻¹ dan⁻¹ u lipnju, zabilježena na tretmanu III. Kada se promatra svaki mjesec zasebno, može se reći da su statistički značajne razlike zabilježene u gotovo svim mjesecima između pojedinih tretmana, osim u kolovozu i studenom gdje se vrijednosti između tretmana nisu značajno razlikovale.



Slika 48. Prosječne vrijednosti emisije C-CO₂ iz tla prema tretmanima gnojidbe tijekom vegetacije ozime pšenice u 2016. godini. (Tretmani: I. - kontrola, negnojeno; II. - N250 + P + K + 40 t ha⁻¹ organskog krutog stajskog miješanog gnoja; III. - N300 + P + K; IV – crni ugar, obrada bez sjetve) (Srednje vrijednosti emisije C-CO₂ iz tla između pojedinih tretmana za svaki pojedini mjesec istraživanja označene istim slovima statistički se značajno ne razlikuju (SAS 9.1, p < 0,05))

4.4.3.2. Kukuruz

U tablici 35. prikazana je osnovna statistička analiza za varijabilnost emisija C-CO₂ u vegetaciji kukuruza prema gnojidbenim tretmanima za pojedine mjesece u istraživanom razdoblju. Prikazane su minimalne i maksimalne utvrđene vrijednosti emisija C-CO₂ uz standardnu devijaciju (Std. dev.) i koeficijente varijacije (CV). Pojedinačne vrijednosti emisija C-CO₂ na kontrolnom tretmanu (I.) varirale su od 2,3 kg ha⁻¹ dan⁻¹ do 32,4 kg ha⁻¹ dan⁻¹. Izmjerene vrijednosti emisija C-CO₂ u prosjeku su varirale s 16,2 %, a varijabilnost se mijenjala ovisno o mjesecu u kojem je mjerenje provedeno. Pojedinačne vrijednosti emisija C-CO₂ na tretmanu s organskom gnojidbom (II.) varirale su od 0,1 kg ha⁻¹ dan⁻¹ do 40,0 kg ha⁻¹ dan⁻¹ s prosječnim koeficijentom varijacije od 41,8 %. Pojedinačne vrijednosti emisija C-CO₂ na tretmanu s mineralnom gnojidbom (III.) varirale su od 2,3 kg ha⁻¹ dan⁻¹ do 47,6 kg ha⁻¹ dan⁻¹, s

prosječnom vrijednošću koeficijenta varijacije od 23,3 %. Na tretmanu s crnim ugarom (IV.), pojedinačne vrijednosti emisija C-CO₂ varirale su od 0,1 kg ha⁻¹ dan⁻¹ do 27,0 kg ha⁻¹ dan⁻¹, s prosječnom vrijednošću koeficijenta varijacije od 19,3 %.

Tablica 35. Osnovna statistika za varijabilnost emisija C-CO₂ u vegetaciji kukuruza prema gnojdbenim tretmanima za ispitivane mjesece u istraživanom razdoblju

| Mjesec | Minimum, | Maksimum, | Std.dev., | CV, | Minimum, | Maksimum, | Std.dev., | CV, |
|-------------|--|--|--|-------------|--|--|--|-------------|
| | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | % | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | % |
| I. | | | | II. | | | | |
| Travanj | 4,5 | 4,5 | 0,0 | 0,0 | 2,2 | 3,3 | 0,6 | 21,7 |
| Svibanj | 3,3 | 5,6 | 1,3 | 26,6 | 7,8 | 13,3 | 2,8 | 26,0 |
| Lipanj | 24,9 | 32,4 | 4,4 | 16,0 | 30,3 | 40,0 | 5,6 | 16,8 |
| Srpanj | 12,7 | 14,8 | 1,2 | 8,7 | 14,8 | 20,1 | 2,7 | 15,4 |
| Kolovoz | 7,7 | 7,7 | 0,0 | 0,0 | 5,5 | 9,9 | 2,2 | 28,6 |
| Rujan | 8,0 | 13,7 | 2,9 | 26,0 | 3,4 | 5,7 | 1,3 | 26,6 |
| Listopad | 13,8 | 16,1 | 1,3 | 8,7 | 13,8 | 21,8 | 4,6 | 28,2 |
| Studeni | 2,3 | 4,5 | 1,3 | 43,3 | 0,1 | 2,3 | 1,3 | 170,9 |
| Prosjek | - | - | - | 16,2 | - | - | - | 41,8 |
| Mjesec | Minimum, | Maksimum, | Std.dev., | CV, | Minimum, | Maksimum, | Std.dev., | CV, |
| | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | % | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | % |
| III. | | | | IV. | | | | |
| Travanj | 3,3 | 5,6 | 1,3 | 31,5 | 2,2 | 3,3 | 0,6 | 21,7 |
| Svibanj | 5,6 | 10,0 | 2,2 | 28,6 | 5,6 | 5,6 | 0,0 | 0,0 |
| Lipanj | 32,4 | 47,6 | 8,2 | 21,4 | 24,9 | 27,0 | 1,2 | 4,9 |
| Srpanj | 17,0 | 19,1 | 11,2 | 6,9 | 7,4 | 9,5 | 1,2 | 13,9 |
| Kolovoz | 7,7 | 9,9 | 1,3 | 113,9 | 5,5 | 5,5 | 0,0 | 0,0 |
| Rujan | 3,4 | 5,7 | 1,3 | 26,6 | 8,0 | 8,0 | 0,0 | 0,0 |
| Listopad | 13,8 | 18,4 | 2,3 | 14,3 | 13,8 | 18,4 | 2,3 | 14,3 |
| Studeni | 2,3 | 4,5 | 1,3 | 43,3 | 0,1 | 4,5 | 2,3 | 99,6 |
| Prosjek | - | - | - | 23,3 | - | - | - | 19,3 |

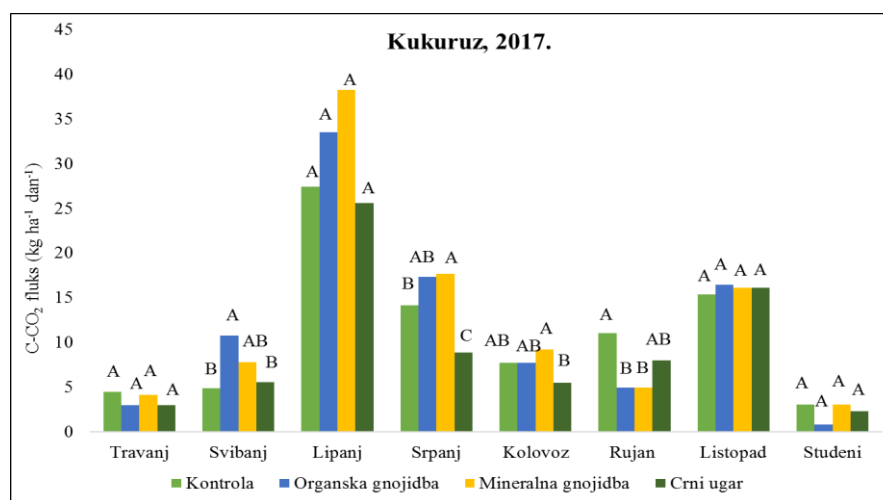
Tretmani: I. - kontrola, negnojeno; II. - N250 + P + K + 40 t ha⁻¹ organskog krutog stajskog miješanog gnoja; III. - N300 + P + K; IV. - crni ugar, obrada bez sjetve

Rezultati analize varijance utjecaja različitih tretmana na varijabilnost emisije C-CO₂ iz tla za istraživanu 2017. godinu (travanj-studeni) prikazani su u tablici 36. Iz navedene tablice može se uočiti da postoji značajna varijabilnost u emisijama C-CO₂ iz tla u pojedinim mjesecima istraživanja uzrokovana gnojdbenim tretmanima [(svibanj (p=0,020), srpanj (p=0,0007), kolovoz (p=0,045) i rujan (p=0,006)].

Tablica 36. Rezultati analize varijance za vrijednosti emisije C-CO₂ iz tla u vegetaciji kukuruza prema gnojdbenim tretmanima za pojedine mjesece u istraživanom razdoblju

| Mjesec | SS | Pr > F | LSD |
|----------|--------|--------|-------|
| Travanj | 5,27 | 0,106 | 1,59 |
| Svibanj | 63,94 | 0,020 | 3,57 |
| Lipanj | 301,43 | 0,075 | 12,90 |
| Srpanj | 150,62 | 0,0007 | 3,20 |
| Kolovoz | 20,55 | 0,045 | 2,39 |
| Rujan | 76,25 | 0,006 | 3,21 |
| Listopad | 2,09 | 0,967 | 5,48 |
| Studeni | 10,25 | 0,330 | 3,01 |

Slika 49. prikazuje kretanje prosječnih vrijednosti emisije C-CO₂ iz tla ovisno o tretmanima gnojidbe tijekom istraživanih mjeseci u vegetaciji kukuruza. Prosječna vrijednost emisije C-CO₂ iz tla kretala se od 0,76 kg ha⁻¹ dan⁻¹ u studenome, zabilježena na tretmanu II., do 38,21 kg ha⁻¹ dan⁻¹ u lipnju, zabilježena na tretmanu III. Kada se promatra svaki mjesec zasebno, može se reći da su statistički značajne razlike zabilježene u svim mjesecima između pojedinih tretmana, osim u travnju, lipnju, listopadu i studenom gdje se vrijednosti između tretmana nisu značajno razlikovale.



Slika 49. Prosječne vrijednosti emisije C-CO₂ iz tla prema tretmanima gnojidbe tijekom vegetacije kukuruza u 2017. godini. (Tretmani: I. - kontrola, negnojeno; II. - N250 + P + K + 40 t ha⁻¹ organskog krutog stajskog miješanog gnoja; III. - N300 + P + K; IV. – crni ugar, obrada bez sjetve) (Srednje vrijednosti emisije C-CO₂ iz tla između pojedinih tretmana za svaki pojedini mjesec istraživanja označene istim slovima statistički se značajno ne razlikuju (SAS 9.1, p < 0,05))

4.4.3.3. Soja

U tablici 37 prikazana je osnovna statistička analiza za varijabilnost emisija C-CO₂ u vegetaciji soje prema gnojidbenim tretmanima za pojedine mjesece u istraživanom razdoblju. Prikazane su minimalne i maksimalne utvrđene vrijednosti emisija C-CO₂ uz standardnu devijaciju (Std. dev.) i koeficijente varijacije (CV). Pojedinačne vrijednosti emisija C-CO₂ na kontrolnom tretmanu (I.) varirale su od 2,3 kg ha⁻¹ dan⁻¹ do 38,6 kg ha⁻¹ dan⁻¹. Izmjerene vrijednosti emisija C-CO₂ u prosjeku su varirale s 12,4 %, a varijabilnost se mijenjala ovisno o mjesecu u kojem je mjerenje provedeno. Pojedinačne vrijednosti emisija C-CO₂ na tretmanu s

organskom gnojdbom (II.) varirale su od 1,1 kg ha⁻¹ dan⁻¹ do 34,4 kg ha⁻¹ dan⁻¹ s prosječnim koeficijentom varijacije od 26,8 %. Pojedinačne vrijednosti emisija C-CO₂ na tretmanu s mineralnom gnojdbom (III.) varirale su od 2,3 kg ha⁻¹ dan⁻¹ do 48,6 kg ha⁻¹ dan⁻¹, s prosječnom vrijednošću koeficijenta varijacije od 20,2 %. Na tretmanu s crnim ugarom (IV.), pojedinačne vrijednosti emisija C-CO₂ varirale su od 1,1 kg ha⁻¹ dan⁻¹ do 25,4 kg ha⁻¹ dan⁻¹, s prosječnom vrijednošću koeficijenta varijacije od 22,3 %.

Tablica 37. Osnovna statistika za varijabilnost emisija C-CO₂ u vegetaciji soje prema gnojdbenim tretmanima za pojedine mjesece u istraživanom razdoblju

| Mjesec | Minimum, | Maksimum, | Std.dev., | CV, | Minimum, | Maksimum, | Std.dev., | CV, |
|-----------------|--|--|--|-------------|--|--|--|-------------|
| | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | % | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | % |
| I. | | | | | | | | |
| Siječanj | 2,3 | 2,3 | 0,0 | 0,0 | 2,3 | 4,7 | 1,4 | 34,6 |
| Ožujak | 4,5 | 4,5 | 0,0 | 0,0 | 2,3 | 4,5 | 1,3 | 34,6 |
| Travanj | 10,9 | 13,1 | 1,3 | 10,8 | 1,1 | 3,3 | 1,3 | 49,5 |
| Svibanj | 10,7 | 17,2 | 3,3 | 24,1 | 9,7 | 12,9 | 1,9 | 15,7 |
| Lipanj | 23,2 | 38,6 | 7,7 | 25,0 | 7,3 | 13,2 | 2,8 | 26 |
| Srpanj | 24,8 | 32,3 | 3,9 | 13,4 | 22,6 | 34,4 | 6,3 | 21,2 |
| Kolovoz | 15,5 | 21,0 | 2,8 | 15,4 | 25,4 | 27,6 | 1,3 | 4,7 |
| Rujan | 10,9 | 13,1 | 1,3 | 10,2 | 9,8 | 17,5 | 3,9 | 27,7 |
| Prosjek | - | - | - | 12,4 | - | - | - | 26,8 |
| Mjesec | Minimum, | Maksimum, | Std.dev., | CV, | Minimum, | Maksimum, | Std.dev., | CV, |
| | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | % | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | kg ha ⁻¹ dan ⁻¹ | % |
| III. | | | | | | | | |
| Siječanj | 2,3 | 2,3 | 0,0 | 0,0 | 2,3 | 2,3 | 0,0 | 0,0 |
| Ožujak | 2,3 | 4,5 | 1,3 | 34,6 | 2,3 | 2,3 | 0,0 | 0,0 |
| Travanj | 3,3 | 3,3 | 0,0 | 0,0 | 1,1 | 3,3 | 1,3 | 49,9 |
| Svibanj | 7,5 | 20,4 | 6,9 | 55,1 | 7,5 | 9,7 | 11,2 | 113,9 |
| Lipanj | 27,6 | 48,6 | 10,5 | 27,7 | 3,3 | 7,7 | 2,2 | 40,0 |
| Srpanj | 24,8 | 32,3 | 3,9 | 13,9 | 5,4 | 12,9 | 4,3 | 41,8 |
| Kolovoz | 25,4 | 35,3 | 5,0 | 116,3 | 17,7 | 25,4 | 3,9 | 18,2 |
| Rujan | 13,1 | 17,5 | 2,1 | 14,3 | 7,6 | 9,8 | 1,3 | 15,1 |
| Prosjek | - | - | - | 20,2 | - | - | - | 22,3 |
| IV. | | | | | | | | |

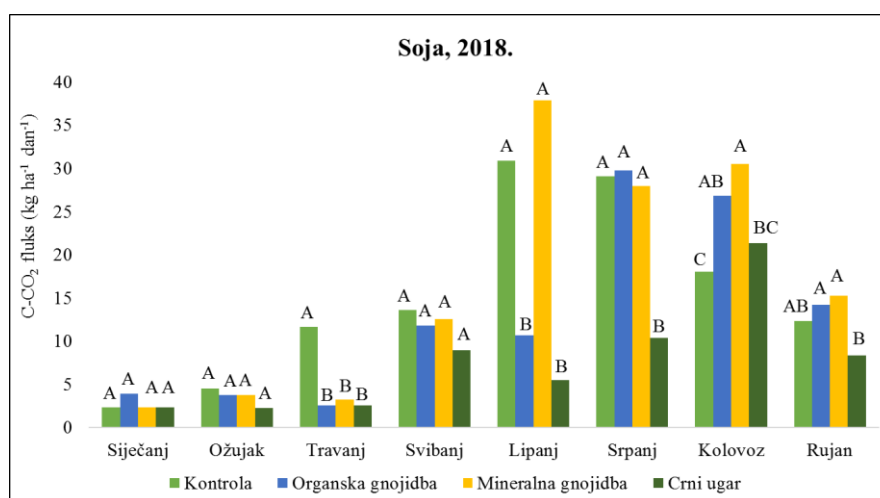
Tretmani: I. - kontrola, negnojeno; II. - N250 + P + K + 40 t ha⁻¹ organskog krutog stajskog miješanog gnoja; III. - N300 + P + K; IV. – crni ugar, obrada bez sjetve

Rezultati analize varijance utjecaja različitih tretmana na varijabilnost emisije C-CO₂ iz tla za istraživanu 2018. godinu (siječanj-rujan) prikazani su u tablici 38. Iz navedene tablice može se uočiti da postoji značajna varijabilnost u emisijama C-CO₂ iz tla u pojedinim mjesecima istraživanja uzrokovana gnojdbenim tretmanima [(travanj (p= <0,001), lipanj (p=0,001), srpanj (p=0,002), kolovoz (p=0,009) i rujan (p=0,035)].

Tablica 38. Rezultati analize varijance za vrijednosti emisije C-CO₂ iz tla u vegetaciji soje prema gnojdbenim tretmanima za pojedine mjeseci u istraživanom razdoblju

| Mjesec | SS | Pr > F | LSD |
|----------|---------|--------|-------|
| Siječanj | 5,52 | 0,051 | 1,65 |
| Ožujak | 8,14 | 0,085 | 2,31 |
| Travanj | 178,12 | <0,001 | 2,05 |
| Svibanj | 35,72 | 0,552 | 7,50 |
| Lipanj | 2188,47 | 0,001 | 12,71 |
| Srpanj | 777,72 | 0,002 | 8,87 |
| Kolovoz | 280,64 | 0,009 | 6,60 |
| Rujan | 82,98 | 0,035 | 4,55 |

Slika 50. prikazuje kretanje prosječnih vrijednosti emisije C-CO₂ iz tla ovisno o tretmanima gnojdbenim tijekom istraživanih mjeseci u vegetaciji soje. Prosječna vrijednost emisije C-CO₂ iz tla kretala se od 2,26 kg ha⁻¹ dan⁻¹ u ožujku, zabilježena na tretmanu IV. (crni ugar), do 37,89 kg ha⁻¹ dan⁻¹ u lipnju, zabilježena na tretmanu III. (mineralna gnojdba). Kada se promatra svaki mjesec zasebno, može se reći da su statistički značajne razlike zabilježene u gotovo svim mjesecima između pojedinih tretmana, osim u siječnju, ožujku i svibnju gdje se vrijednosti između tretmana nisu značajno razlikovale.



Slika 50. Prosječne vrijednosti emisije C-CO₂ iz tla prema tretmanima gnojdbenim tijekom vegetacije soje u 2018. godini. (Tretmani: I. - kontrola, negnojeno; II. - N250 + P + K + 40 t ha⁻¹ organskog krutog stajskog miješanog gnoja; III. - N300 + P + K; IV. – crni ugar, obrada bez sjetve) (Srednje vrijednosti emisije C-CO₂ iz tla između pojedinih tretmana za svaki pojedini mjesec istraživanja označene istim slovima statistički se značajno ne razlikuju (SAS 9.1, p < 0,05))

4.4.4. Utjecaj agroekoloških čimbenika na emisiju C-CO₂ iz tla

Parametri opisne statističke analize za sadržaj fluksa ($\text{kg}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{dan}$), vrijednosti temperature tla na 10 cm dubine ($^{\circ}\text{C}$) te količinu vode u tlu na 10 cm dubine (%) prikazani su u tablici 38. U promatranom razdoblju, za vrijeme vegetacije svake pojedinačne kulture: pšenice - 2016. godine, kukuruza - 2017. godine te soje - 2018. godine, ukupno je provedeno 96 mjerenja. Sadržaj pojedinačnih vrijednosti fluksa izmjeren u razdoblju od 2016. do 2018. godine, varirao je od 0,01 do 81,5 $\text{kg}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{dan}$, sa prosječnom standardnom devijacijom od 12,11 $\text{kg ha}^{-1} \text{dan}^{-1}$. Sadržaj pojedinačnih vrijednosti temperature tla na 10 cm dubine izmjeren u razdoblju od 2016. do 2018. godine, varirao je od 10,50 $^{\circ}\text{C}$ do 43,60 $^{\circ}\text{C}$, sa prosječnom standardnom devijacijom od 7,39. Sadržaj pojedinačnih vrijednosti količine vode u tlu na 10 cm dubine izmjerene u razdoblju od 2016. do 2018. godine, varirao je od 3,31 % do 39,79 %, sa prosječnom standardnom devijacijom od 8,70 (Tablica 39).

Tablica 39. Rezultati statističke analize za sadržaj fluksa ($\text{kg ha}^{-1} \text{dan}^{-1}$), vrijednosti temperature tla na 10 cm dubine ($^{\circ}\text{C}$), te količinu vode u tlu na 10 cm dubine (%); n=96

| Pšenica, 2016. godina | | | | | |
|--|---|---|---|---|-----------------|
| | Minimum, | Maksimum, | Srednja vrijednost | St. dev. | St. dev. |
| | $\text{kg ha}^{-1} \text{dan}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{dan}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{dan}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{dan}^{-1}$ | prosjek |
| Fluks ($\text{kg}^{-1}\text{ha}^{-1}\text{dan}$) | 0,01 | 81,50 | 17,95 | 15,98 | 12,11 |
| Temperatura tla ($^{\circ}\text{C}$) | 16,00 | 40,10 | 28,31 | 6,90 | |
| Količina vode u tlu (%) | 9,21 | 38,06 | 25,75 | 7,24 | |
| Kukuruz, 2017. godina | | | | | |
| Fluks ($\text{kg}^{-1}\text{ha}^{-1}\text{dan}$) | 0,01 | 47,59 | 11,19 | 9,42 | 7,39 |
| Temperatura tla ($^{\circ}\text{C}$) | 17,40 | 43,60 | 28,61 | 8,49 | |
| Količina vode u tlu (%) | 4,68 | 39,79 | 23,52 | 9,30 | |
| Soja, 2018. godina | | | | | |
| Fluks ($\text{kg}^{-1}\text{ha}^{-1}\text{dan}$) | 1,09 | 48,55 | 13,17 | 10,93 | 8,70 |
| Temperatura tla ($^{\circ}\text{C}$) | 10,50 | 35,50 | 26,08 | 6,77 | |
| Količina vode u tlu (%) | 3,31 | 35,72 | 16,73 | 9,57 | |

Linearna, eksponencijalna, kvadratna i logaritamska veza između emisije C-CO₂ i određenih agroekoloških čimbenika koji uključuju temperaturu tla i količinu vode u tlu na 10 cm dubine ispitana je regresijskom analizom. Analiza je provedena posebno za svaku od tri godine istraživanja: za 2016. godinu (razdoblje od travnja do studenog, n=96), za 2017. godinu (razdoblje od travnja do studenog, n=96) i za 2018. godinu (razdoblje od siječnja do rujna, n=96).

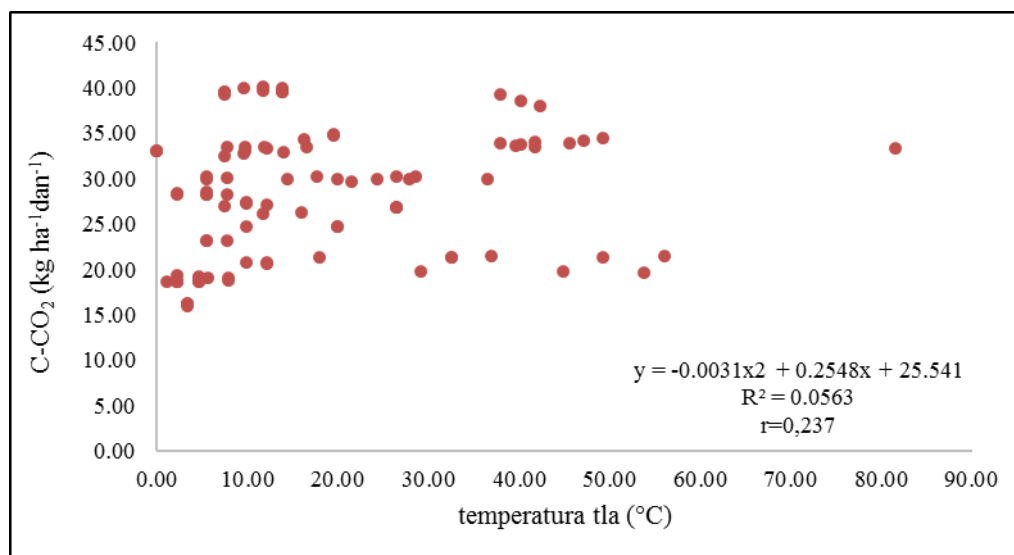
4.4.4.1. Temperatura tla

Ovisnost emisije C-CO₂ iz tla i temperature tla na 10 cm dubine za istraživanu 2016. godinu je vrlo slaba za ispitivane tri vrste funkcionalne veze, a utvrđena je regresijskom analizom: linearna (r= +0,180), eksponencijalna (r= +0,192) i kvadratna (r= -0,237), dok za logaritamsku vezu (r= +0,067) ovisnosti nema (Tablica 40.). Prema vrijednostima koeficijenta determinacije (R²), kvadratna regresija pokazuje najbolju vezu, gdje 5,6 % izmjerenih vrijednosti parametara emisije C-CO₂ iz tla ovisi o temperaturi tla (Slika 51).

Tablica 40. Ovisnost emisije C-CO₂ i temperature tla na 10 cm dubine za istraživanu 2016. godinu

| Vrsta veze | Jednadžba pravca (y) | R-kvadratna vrijednost (R ²) | Korelacijski koeficijent (r) | Jačina korelacije |
|----------------------|---|--|------------------------------|-------------------|
| Linearna veza | 0,0778x + 26,921 | 0,0324 | 0,180 NS | vrlo slaba |
| Eksponencijalna veza | 25,962e0,0031 | 0,0370 | 0,192 NS | vrlo slaba |
| Kvadratna veza | - 0,0031x ² +0,2548x+25,541 | 0,0563 | -0,237 NS | vrlo slaba |
| Logaritamska veza | 0,2504ln(x)+27,755 | 0,0045 | 0,067 NS | nema |

Razina statističke značajnosti: *-p≤0,05; **-p≤0,01; ***-p<0,001; NS-nije signifikantno



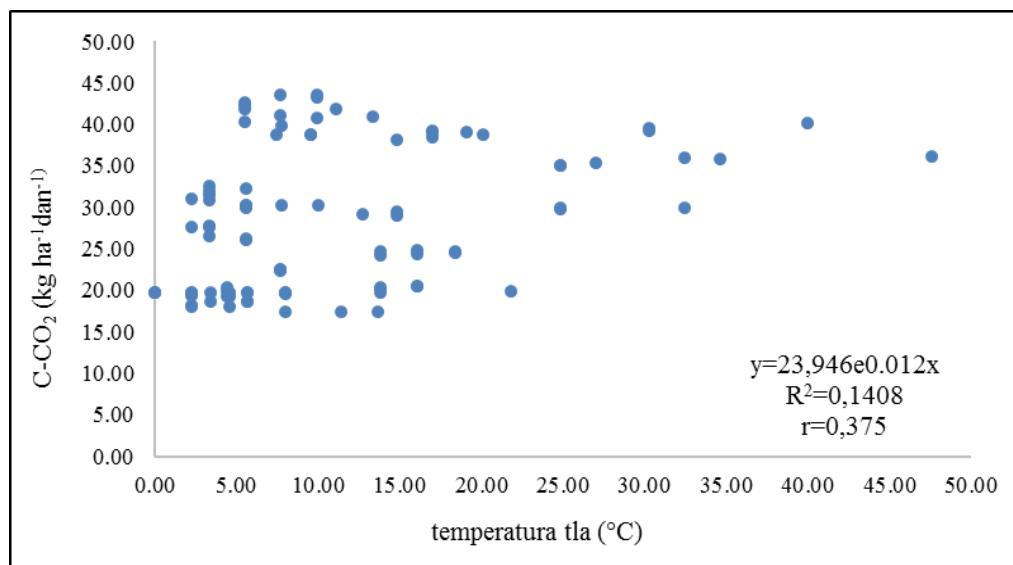
Slika 51. Ovisnost emisije C-CO₂ i temperature tla na 10 cm dubine za istraživanu 2016. godinu

Ovisnost emisije C-CO₂ iz tla i temperature tla na 10 cm dubine za istraživanu 2017. godinu je slaba za sve četiri ispitivane funkcionalne veze, a utvrđena je regresijskom analizom: linearna ($r= +0,361$), eksponencijalna ($r= +0,375$), kvadratna ($r= -0,371$), i logaritamska ($r= +0,322$) (Tablica 41.). Prema vrijednostima koeficijenta determinacije (R^2), eksponencijalna regresija pokazuje najbolju vezu, gdje 14 % izmjerenih vrijednosti parametara emisije C-CO₂ iz tla ovisi o temperaturi tla (Slika 52).

Tablica 41. Ovisnost emisije C-CO₂ i temperature tla na 10 cm dubine za istraživanu 2017. godinu

| Vrsta veze | Jednadžba pravca (y) | R-kvadratna vrijednost (R^2) | Korelacijski koeficijent (r) | Jačina korelacije |
|----------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|-------------------|
| Linearna veza | $0,3265x+24,959$ | 0,1310 | 0,361*** | slaba |
| Eksponencijalna veza | $23,946e0,012x$ | 0,1408 | 0,375*** | slaba |
| Kvadratna veza | $-$ $0,0057x^2+0,5334x+23,857$ | 0,1378 | -0,371*** | slaba |
| Logaritamska veza | $1,5552\ln(x)+25,71$ | 0,1039 | 0,322*** | slaba |

Razina statističke značajnosti: *- $p \leq 0,05$; **- $p \leq 0,01$; ***- $p < 0,001$; NS-nije signifikantno



Slika 52. Ovisnost emisije C-CO₂ i temperature tla na 10 cm dubine za istraživanu 2017. godinu

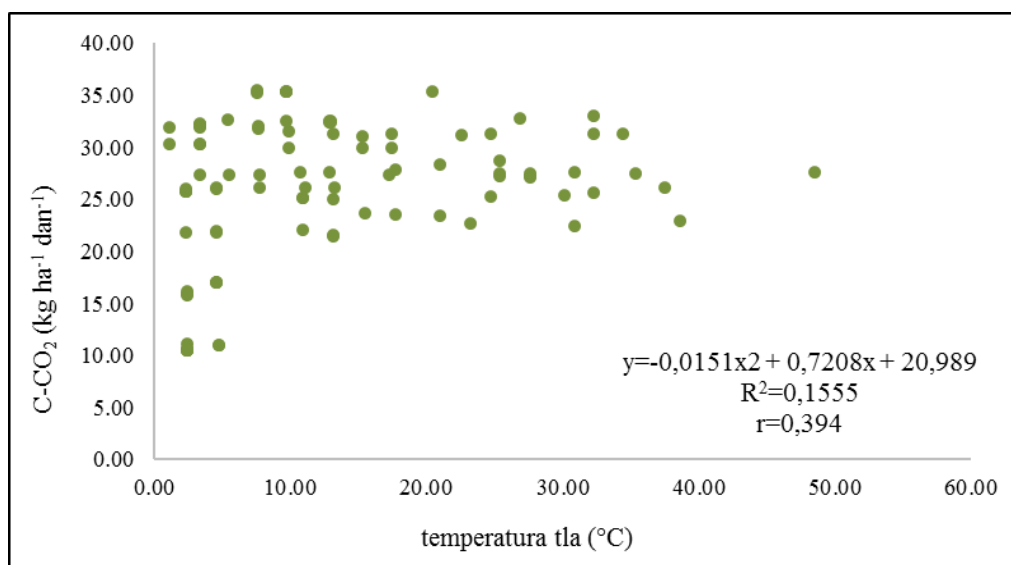
Ovisnost emisije C-CO₂ iz tla i temperature tla na 10 cm dubine za istraživanu 2018. godinu je slaba za sve četiri ispitivane funkcionalne veze, a utvrđena je regresijskom analizom: linearna ($r= +0,270$), eksponencijalna ($r= +0,313$), kvadratna ($r= -0,394$), i logaritamska ($r= +0,379$) (Tablica 42.). Prema vrijednostima koeficijenta determinacije (R^2), kvadratna regresija

pokazuje najbolju vezu, gdje 15 % izmjerenih vrijednosti parametara emisije C-CO₂ iz tla ovisi o temperaturi tla (Slika 53).

Tablica 42. Ovisnost emisije C-CO₂ i temperature tla na 10 cm dubine za istraživanu 2018. godinu

| Vrsta veze | Jednadžba pravca (y) | R-kvadratna vrijednost (R ²) | Korelacijski koeficijent (r) | Jačina korelacije |
|---------------------|---------------------------------------|--|------------------------------|-------------------|
| Linearna veza | 0,1675x+23,884 | 0,0731 | 0,270** | slaba |
| Eksponecijalna veza | 22,023e0,0094x | 0,0981 | 0,313** | slaba |
| Kvadratna veza | -0,0151x ² +0,7208x+20,989 | 0,1555 | -0,394** | slaba |
| Logaritamska veza | 2,6696ln(x)+20,277 | 0,1442 | 0,379** | slaba |

Razina statističke značajnosti: *-p<0,05; **-p<0,01; ***-p<0,001; NS-nije signifikantno



Slika 53. Ovisnost emisije C-CO₂ i temperature tla na 10 cm dubine za istraživanu 2018. godinu

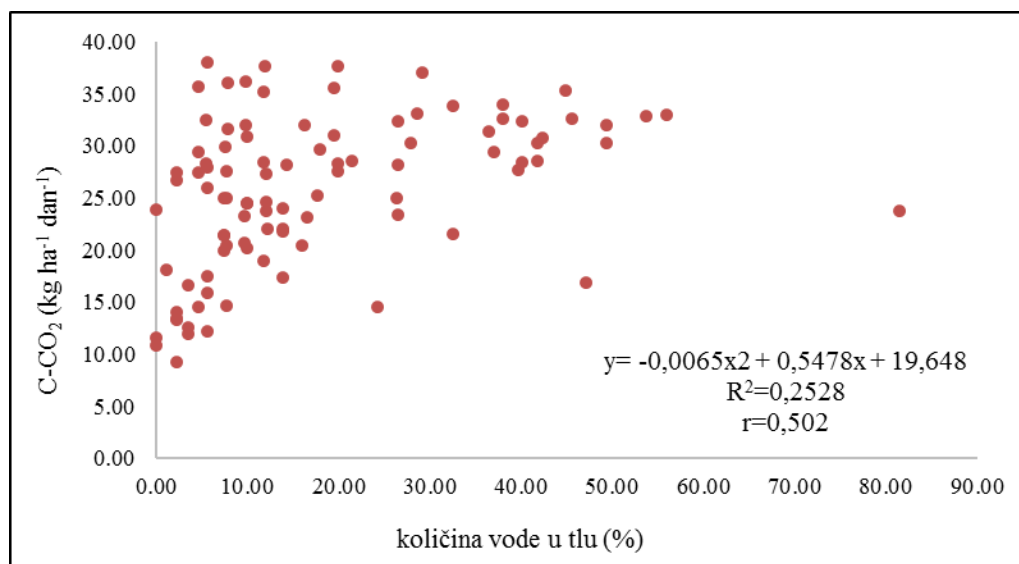
4.4.4.2. Količina vode u tlu

Ovisnost emisije C-CO₂ iz tla o količini vode u tlu na 10 cm dubine za istraživanu 2016. godinu je slaba za jednu vrstu ispitivane funkcionalne veze, srednja za dvije vrste funkcionalne veze te jaka za jednu funkcionalne veze, a utvrđena je regresijskom analizom: linearna (r= +0,399), eksponencijalna (r= +0,407), kvadratna (r= -0,502) i logaritamska (r= +0,446) (Tablica 43.). Prema vrijednostima koeficijenta determinacije (R²), kvadratna regresija pokazuje najbolju vezu, gdje 25 % izmjerenih vrijednosti parametara emisije C-CO₂ iz tla ovisi o količini vode u tlu (Slika 54).

Tablica 43. Ovisnost emisije C-CO₂ o količini vode u tlu na 10 cm dubine za istraživanu 2016. godinu

| Vrsta veze | Jednadžba pravca (y) | R-kvadratna vrijednost (R ²) | Korelacijski koeficijent (r) | Jačina korelacije |
|---------------------|---------------------------------------|--|------------------------------|-------------------|
| Linearna veza | 0,1812x+22,506 | 0,1597 | 0,399*** | slaba |
| Eksponecijalna veza | 21,147e0,0083x | 0,1664 | 0,407*** | srednja |
| Kvadratna veza | -0,0065x ² +0,5478x+19,648 | 0,2528 | -0,502*** | jaka |
| Logaritamska veza | 11,7451ln(x)+21,833 | 0,1991 | 0,446*** | srednja |

Razina statističke značajnosti: *-p<0,05; **-p<0,01; ***-p<0,001; NS-nije signifikantno



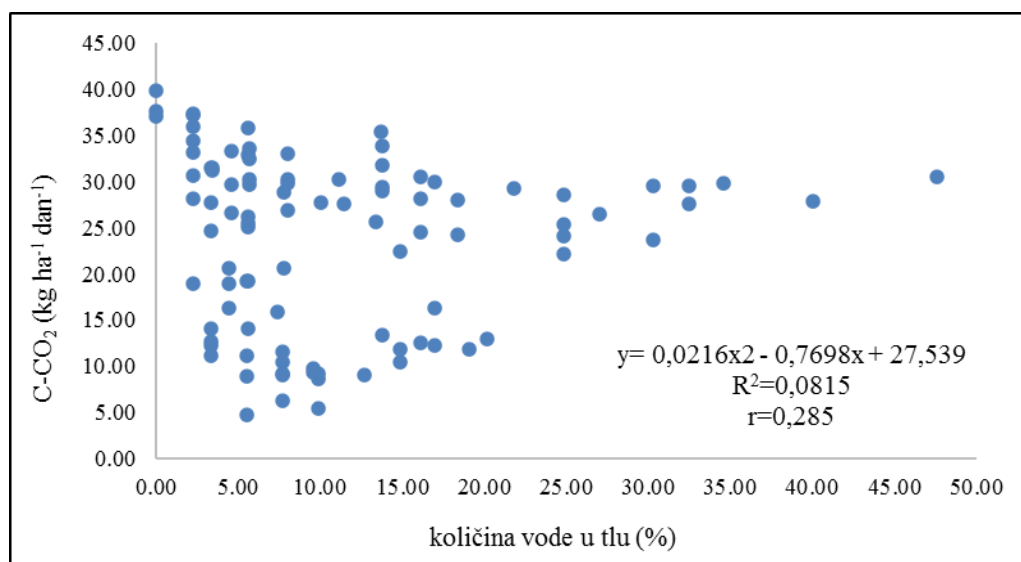
Slika 54. Ovisnost emisije C-CO₂ o količini vode u tlu na 10 cm dubine za istraživanu 2016. godinu

Ovisnost emisije C-CO₂ iz tla o količini vode u tlu na 10 cm dubine za istraživanu 2017. godinu je slaba za dvije vrste ispitivane funkcionalne veze, dok za ostale dvije vrste funkcionalne veze ovisnosti nema, a utvrđena je regresijskom analizom: linearna (r= +0,014), ekspanencijalna (r= +0,066), kvadratna (r= +0,285) i logaritamska (r= -0,278) (Tablica 44.). Prema vrijednostima koeficijenta determinacije (R²), kvadratna regresija pokazuje najbolju vezu, gdje 8 % izmjerenih vrijednosti parametara emisije C-CO₂ iz tla ovisi o količini vode u tlu (Slika 55).

Tablica 44. Ovisnost emisije C-CO₂ o količini vode u tlu na 10 cm dubine za istraživanu 2017. godinu

| Vrsta veze | Jednadžba pravca (y) | R-kvadratna vrijednost (R ²) | Korelacijski koeficijent (r) | Jačina korelacije |
|---------------------|--------------------------------------|--|------------------------------|-------------------|
| Linearna veza | 0,0145x+23,362 | 0,0002 | 0,014 NS | nema |
| Eksponecijalna veza | 20,342e0,0035x | 0,0044 | 0,066 NS | nema |
| Kvadratna veza | 0,0216x ² -0,7698x+27,539 | 0,0815 | 0,285NS | slaba |
| Logaritamska veza | -1,47ln(x)+26,268 | 0,0775 | -0,278 NS | slaba |

Razina statističke značajnosti: *-p<0,05; **-p<0,01; ***-p<0,001; NS-nije signifikantno



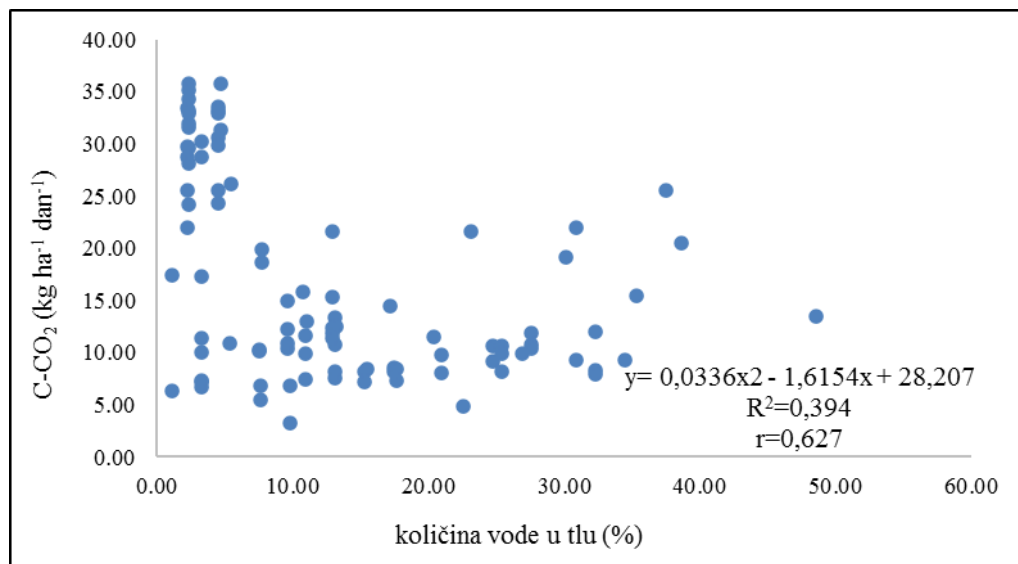
Slika 55. Ovisnost emisije C-CO₂ o količini vode u tlu na 10 cm dubine za istraživanu 2017. godinu

Ovisnost emisije C-CO₂ iz tla o količini vode u tlu na 10 cm dubine za istraživanu 2018. godinu je srednja za jednu vrstu ispitivane funkcionalne veze, slaba za jednu vrstu funkcionalne veze te jaka za dvoje vrste funkcionalne veze, a utvrđena je regresijskom analizom: linearna ($r = -0,434$), eksponencijalna ($r = +0,362$), kvadratna ($r = +0,627$) i logaritamska ($r = -0,571$) (Tablica 45.). Prema vrijednostima koeficijenta determinacije (R^2), kvadratna regresija pokazuje najbolju vezu, gdje 39 % izmjerenih vrijednosti parametara emisije C-CO₂ iz tla ovisi o količini vode u tlu (Slika 56).

Tablica 45. Ovisnost emisije C-CO₂ o količini vode u tlu na 10 cm dubine za istraživanu 2018. godinu

| Vrsta veze | Jednadžba pravca (y) | R-kvadratna vrijednost (R^2) | Korelacijski koeficijent (r) | Jačina korelacije |
|----------------------|--------------------------------|----------------------------------|------------------------------|-------------------|
| Linearna veza | $-0,3801x + 21,744$ | 0,1885 | $-0,434^{***}$ | srednja |
| Eksponencijalna veza | $18,307e^{-0,019x}$ | 0,1315 | $0,362^{***}$ | slaba |
| Kvadratna veza | $0,0336x^2 - 1,6154x + 28,207$ | 0,3940 | $0,627^{***}$ | jaka |
| Logaritamska veza | $-5,678\ln(x) + 29,101$ | 0,3264 | $-0,571^{***}$ | jaka |

Razina statističke značajnosti: *- $p < 0,05$; **- $p < 0,01$; ***- $p < 0,001$; NS-nije signifikantno



Slika 56. Ovisnost emisije C-CO₂ o količini vode u tlu na 10 cm dubine za istraživanu 2018. godinu

Ovisnost emisije C-CO₂ iz tla o temperaturi tla (°C) i količini vode u tlu (%) na 10 cm dubine za istraživanu 2016., 2017. i 2018. godinu sumarno je prikazana u tablici 46. Odnosi između temperature tla, količine vode u tlu i emisije C-CO₂ variraju kroz istraživane godine, gdje količina vode u tlu u većini slučajeva pokazuje jaču korelaciju s emisijama C-CO₂ u usporedbi s temperaturom tla.

Tablica 46. Sumarni prikaz ovisnosti emisije C-CO₂ iz tla o temperaturi tla (°C) i količini vode u tlu (%) za 2016., 2017. i 2018. godinu istraživanja

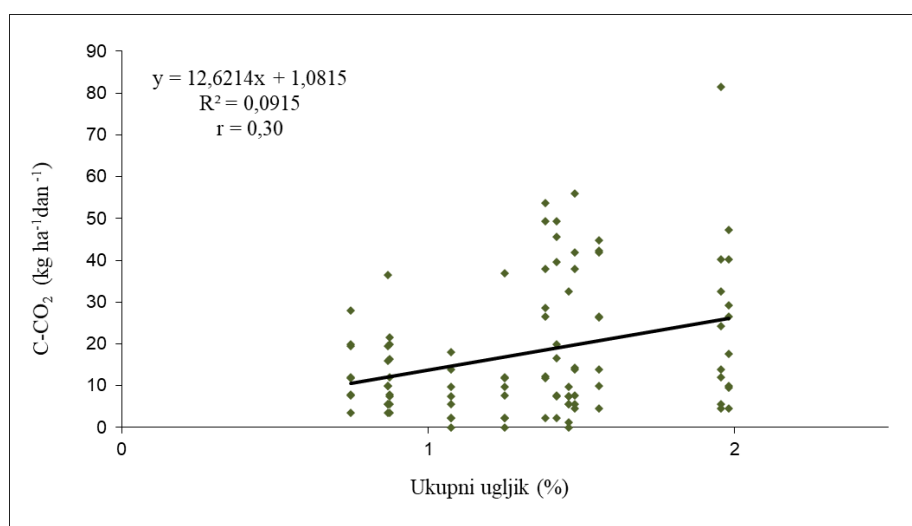
| Godina istraživanja | Temperatura tla (°C) | | | Količina vode u tlu (%) | | |
|---------------------|------------------------------|-------------------|-----------------|------------------------------|-------------------|----------------|
| | Korelacijski koeficijent (r) | Jačina korelacije | Tip korelacije | Korelacijski koeficijent (r) | Jačina korelacije | Tip korelacije |
| 2016. | -0,237 | vrlo slaba | kvadratna | -0,502 | jaka | kvadratna |
| 2017. | 0,375 | slaba | eksponencijalna | 0,285 | slaba | kvadratna |
| 2018. | -0,394 | slaba | kvadratna | 0,627 | jaka | kvadratna |

4.4.5. Ovisnost emisije C-CO₂ i ukupnog C u tlu

S obzirom na postavljene ciljeve i hipoteze, utvrđivanje interakcije emisije C-CO₂ iz poljoprivrednog tla u ovisnosti o sadržaju ugljika u tlu biti će prikazane između sadržaja ugljika u tlu i utvrđenih C-CO₂ emisija iz tla za uzorkovane godine u istraživanju, odnosno za 2016. (Tablica 47) i 2018. godinu (Tablica 48). Ovisnost se odnosi na iskazane koeficijente korelacije (r). U svibnju, lipnju i srpnju u vegetaciji ozime pšenice, utvrđena je statistički značajna ovisnost ($p < 0,05$) emisije C-CO₂ o sadržaju ukupnog ugljika (TC) u tlu i bila je jaka ($r = 0,6464$, $r = 0,5986$, $r = 0,6070$). U hladnijem dijelu godine, emisija C-CO₂ nije bila u značajnoj i jakoj ovisnosti o sadržaju ukupnog ugljika u tlu. Uz gore navedeno, u nastavku je prikazan i regresijski model ovisnosti emisije C-CO₂ i sadržaja ugljika u tlu za istraživanu 2016. godinu (Slika 57).

Tablica 47. Ovisnost emisije C-CO₂ o sadržaju ukupnog ugljika u tlu u vegetaciji ozime pšenice

| Ozima pšenica, 2016. | | | | | | | | |
|---------------------------------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|
| Mjesec | travanj | svibanj | lipanj | srpanj | srpanj | kolovoz | rujan | studenj |
| Emisija C-CO₂ | | | | | | | | |
| TC | 0,2637 | 0,6464 | 0,5986 | 0,4328 | 0,6070 | 0,0701 | 0,3140 | 0,3553 |
| p | 0,407 | 0,023 | 0,039 | 0,159 | 0,036 | 0,828 | 0,320 | 0,257 |

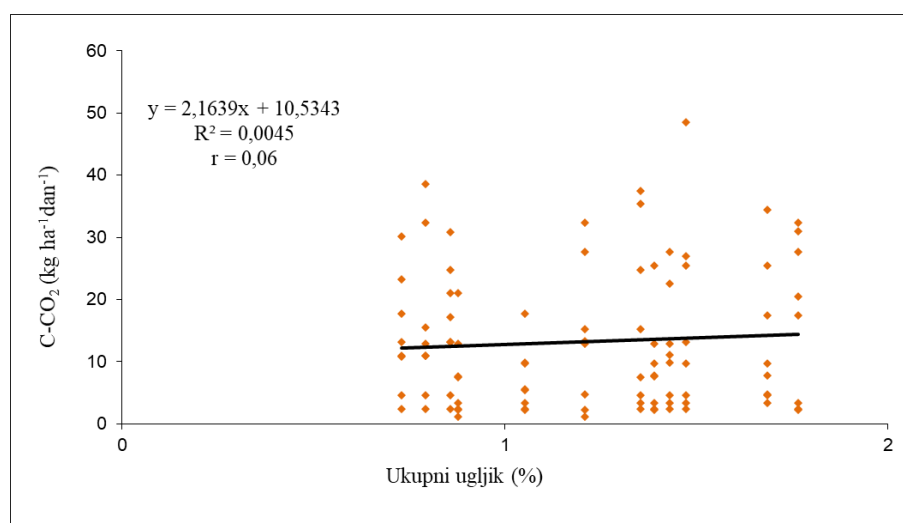


Slika 57. Regresijski model ovisnosti emisije C-CO₂ i sadržaja ugljika u tlu za istraživanu 2016. godinu

Utvrđena vrijednost korelacijskog koeficijenta u travnju ukazuje na značajno jaku i negativnu ovisnost emisije C-CO₂ o sadržaju ukupnog ugljika u tlu, što znači da se emisija C-CO₂ smanjivala s povećanjem sadržaja ukupnog ugljika u tlu. Isti negativni trend je zabilježen i u ožujku premda ovisnost spomenuta dva parametra nije bila ni značajna niti jaka. U vegetaciji soje, značajna pozitivna ovisnost promatranih parametara ($r = 0,7550$) utvrđena je u kolovozu 2018. godine. Kao i u vegetaciji ozime pšenice, u hladnijem dijelu godine nije zabilježena značajna i jaka ovisnost emisije C-CO₂ i ukupnog ugljika u tlu (Tablica 48). Također, u nastavku je prikazan i regresijski model ovisnosti emisije C-CO₂ i sadržaja ugljika u tlu za istraživanu 2018. godinu (Slika 58).

Tablica 48. Ovisnost emisije C-CO₂ o sadržaju ukupnog ugljika u tlu u vegetaciji soje

| Soja, 2018. | | | | | | | | |
|---------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|--------|
| Mjesec | siječanj | ožujak | travanj | svibanj | lipanj | srpanj | kolovoz | rujan |
| Emisija C-CO ₂ | | | | | | | | |
| TC | 0,3032 | -0,1019 | -0,6099 | 0,1589 | -0,0199 | 0,2228 | 0,7550 | 0,4810 |
| p | 0,338 | 0,752 | 0,035 | 0,621 | 0,950 | 0,486 | 0,004 | 0,113 |



Slika 58. Regresijski model ovisnosti emisije C-CO₂ i sadržaja ugljika u tlu za istraživanu 2018. godinu

4.4.6. Bilanca ugljika

Srednje vrijednosti sadržaja ugljika u t C ha⁻¹ u tlu (spremnik) i srednje vrijednosti odliva ugljika prinomom i emisijom u atmosferu u t C ha⁻¹ god. prema tretmanima pokusa prikazane su na slici 57.

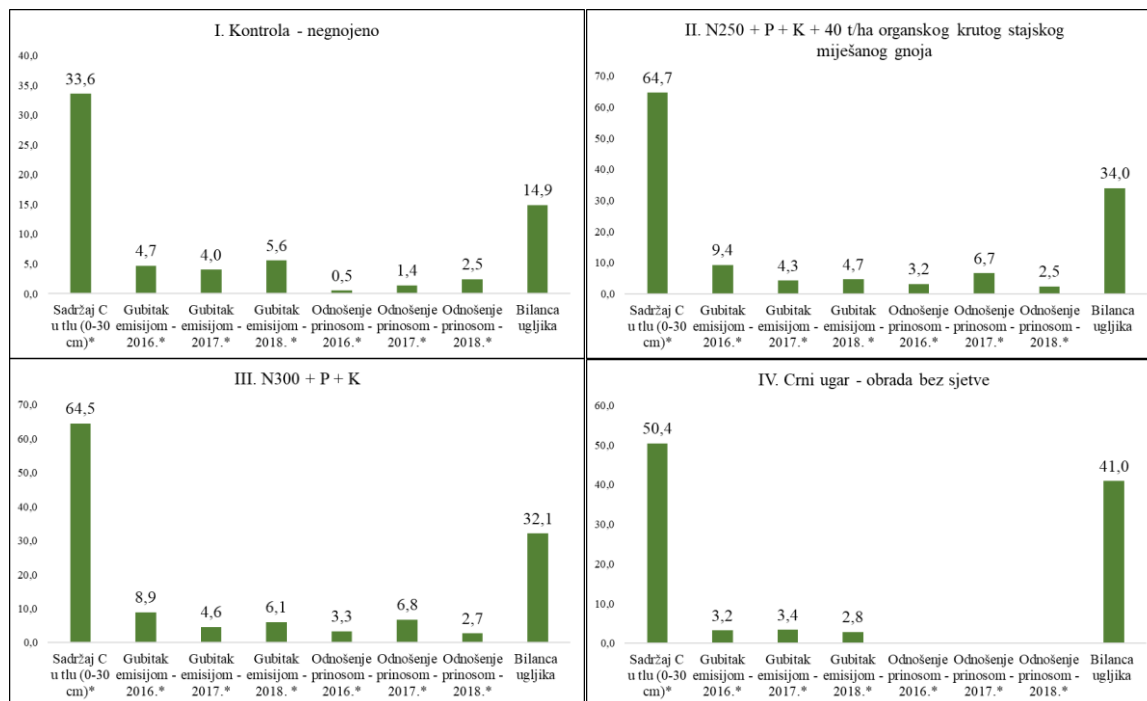
U periodu istraživanja 2016.-2018., srednja vrijednost sadržaja ugljika u tlu (spremnik) na kontrolnom tretmanu (I.) iznosila je 33,6 t C ha⁻¹. Kumulativni godišnji gubitak emisijom u atmosferu na kontrolnom tretmanu u istraživanom razdoblju, u vegetaciji ozime pšenice, kukuruza i soje ukupno je iznosio 14,3 t C ha⁻¹. Suma srednjih godišnjih vrijednosti odliva ugljika prinomom ozime pšenice, kukuruza i soje na kontrolnom tretmanu iznosila je ukupno 4,4 t C ha⁻¹. Na spomenutom tretmanu, utvrđena bilanca ugljika ukazuje da su odlivi (gubitak emisijom i odnošenje prinomom) uvjetovali smanjenje sadržaja ukupnog ugljika u tlu za 55,6 %.

Srednja vrijednost sadržaja ugljika u tlu na tretmanu s primijenjenom organskom gnojivom (II.) iznosila je 64,7 t C ha⁻¹. Kumulativni godišnji gubitak emisijom u atmosferu na istoimenom tretmanu u istraživanom razdoblju, u vegetaciji ozime pšenice, kukuruza i soje ukupno je iznosio 18,4 t C ha⁻¹. Suma srednjih godišnjih vrijednosti odliva ugljika prinomom ozime pšenice, kukuruza i soje na tretmanu s primijenjenom organskom gnojivom iznosila je ukupno 12,4 t C ha⁻¹. Nadalje, utvrđena bilanca ugljika ukazuje da su odlivi (gubitak emisijom i odnošenje prinomom) uvjetovali smanjenje sadržaja ukupnog ugljika u tlu za 47,4 %.

Srednja vrijednost sadržaja ugljika u tlu na tretmanu s primijenjenom mineralnom gnojivom (III.) iznosila je 64,5 t C ha⁻¹. Kumulativni godišnji gubitak emisijom u atmosferu na spomenutom tretmanu u istraživanom razdoblju, u vegetaciji ozime pšenice, kukuruza i soje ukupno je iznosio 19,6 t C ha⁻¹. Suma srednjih godišnjih vrijednosti odliva ugljika prinomom ozime pšenice, kukuruza i soje na tretmanu s primijenjenom mineralnom gnojivom iznosila je ukupno 12,8 t C ha⁻¹. Nadalje, utvrđena bilanca ugljika ukazuje da su odlivi (gubitak emisijom i odnošenje prinomom) uvjetovali smanjenje sadržaja ukupnog ugljika u tlu za 50,2 %.

Srednja vrijednost sadržaja ugljika u tlu na tretmanu s crnim ugarom (IV.) iznosila je 50,4 t C ha⁻¹. Kumulativni godišnji gubitak emisijom u atmosferu na istoimenom tretmanu u istraživanom razdoblju, u vegetaciji ozime pšenice, kukuruza i soje ukupno je iznosio 9,4 t C ha⁻¹. S obzirom da je riječ o tretmanu koji podrazumijeva obradu tla bez sjetve, podatci o prinomu nisu prikupljeni, tako da informacije o srednjim godišnjim vrijednostima odliva ugljika prinomom ozime pšenice, kukuruza i soje nisu dostupne. Na spomenutom tretmanu, utvrđena

bilanca ugljika ukazuje da su odlivi (gubitak emisijom) uvjetovali smanjenje sadržaja ukupnog ugljika u tlu za 18,6 % ali bez uzgoja.



Slika 59. Srednje vrijednosti sadržaja ugljika u t C ha⁻¹ u tlu (spremnik) i odliva ugljika prinomom i emisijom u atmosferu u t C t ha⁻¹ god. prema tretmanima pokusa za tri istraživane vegetacijske godine

* Sadržaj C u tlu (0-30 cm) t C ha⁻¹; Kumulativni godišnji gubitak emisijom u atmosferu C-CO₂ t ha⁻¹ god. u vegetaciji ozime pšenice; Kumulativni godišnji gubitak emisijom u atmosferu C-CO₂ t ha⁻¹ god. u vegetaciji kukuruza; Kumulativni godišnji gubitak emisijom u atmosferu C-CO₂ t ha⁻¹ god. u vegetaciji soje; Oдноšenje t C ha⁻¹ prinomom - zrno pšenice 2016.; Oдноšenje t C ha⁻¹ prinomom - zrno kukuruza 2017.; Oдноšenje t C ha⁻¹ prinomom - zrno soje 2018.

5. RASPRAVA

5.1. TLO

5.1.1. Sadržaj ukupnog ugljika u tlu

Ukupni ugljik (C) u tlu predstavlja zbroj organskih i anorganskih oblika ugljika. Organski ugljik prisutan je u frakciji organske tvari tla (eng. *Soil organic matter* - SOM), dok se anorganski ugljik uglavnom nalazi u karbonatnim mineralima. Važno je napomenuti kako je ukupna količina ugljika u tlu na globalnoj razini gotovo tri puta veća od one u nadzemnoj biomasi (Bogunović i sur., 2018). Tijekom referentnog razdoblja, sadržaj ukupnog ugljika u tlu kretao se od 0,83 % do 1,62 %. Nešto niži sadržaj zabilježen je tijekom istraživanja 2016. godine, a kretao se od 0,82 % do 1,58 % na dubini 0-30 cm, te istraživanja 2018. godine gdje su se vrijednosti kretale od 0,78 % do 1,50 % na dubini 0-30 cm. Pojedini dobiveni rezultati u ovom istraživanju nešto su niži od navoda autora Mesić i sur. (2014.) koji kažu da mnoga tla sadrže od 1 do 10 % C u površinskom horizontu, dok većina ima koncentraciju C od 1 do 3 %. Tako su autori Šestak i sur. (2018) u svom istraživanju zabilježili vrijednosti od čak 6,27 do 6,54 % ukupnog C. Također, Al Ahmed (2017) zabilježio je nešto veće vrijednosti (1,96 %) ukupnog C na dubini od 0-25 cm u odnosu na istraživanje 2016. i 2018. godinu. Osnovne karakteristike hrvatskih tala, uključujući i Pseudoglej opisao je Martinović (2000) koji navodi da je količina ukupnog C u tlu iznosila 3,4 % na dubini 0-12 cm, 1,2 % na dubini 15-30 cm te 0,2 % na dubini 65-95 cm. Trend smanjenja ukupnog ugljika u tlu s povećanjem dubine zabilježen je i od strane Mesić i sur. (2014) čije su se vrijednosti kretale od 0,33 % na dubini 60-90 cm do 10,72 % na dubini 0-3 cm. U svom istraživanju, Buringh (1984) ispitao je više od 400 tipova tla, gdje je utvrđena velika varijabilnost ukupnog sadržaja ugljika u različitim tipovima tala. Zaključio je da u tlima u kojima je ugljik određen do dubine od 1 m ili više, sadržaj C u tlu manji od 0,2 % ispod 1 m, te manji od 0,1 % ispod 1,5 m. Površinski slojevi tla (0,20 cm dubine) rijetko sadrže više od 5 % C. Također, relativno visok sadržaj ugljika u tlu zabilježen je na područjima gdje prevladava vlažna klima, a relativno nizak sadržaj u područjima sa vrućom i suhom klimom (Buringh, 1984; Zhao i sur., 2019; Filho i sur., 2022). Veći sadržaj ugljika u tlu u vlažnim klimama prvenstveno je posljedica većeg unosa organske tvari putem biljnih ostataka, uravnoteženih stopa razgradnje zbog mikrobne aktivnosti koja je u vlažnim uvjetima povećana, te povoljnih uvjeta za stabilizaciju organske tvari, dodatno povećavajući zadržavanje ugljika u tlu. U vrućim i suhim klimama, ograničena produktivnost biljaka, sporije stope razgradnje i povećana osjetljivost organske tvari na razgradnju doprinose nižem sadržaju C u tlu (Pinheiro Junior i sur., 2019).

5.1.2. Sadržaj ugljika u tlu pri različitim gnojidbenim tretmanima

Različite vrste gnojidbe utječu na maksimalnu zalihu ugljika u tlu, a organska i mineralna gnojidba rezultiraju različitim razinama skladištenja ugljika (Conant i sur., 2001; Fujisaki i sur., 2018; Poeplau i sur.; 2018, Ryals i sur., 2014). Povećanje ugljika u tlu potječe iz različitih procesa, a jedan od njih je pomoću izravnog unosa ugljika putem organske gnojidbe (Ryals i sur., 2014). Tako, tijekom referentnog razdoblja, značajno ($P_{r>F} = 0,001$) najniži sadržaj ukupnog ugljika zabilježen je na kontrolnom tretmanu (I.), dok je primjena mineralne gnojidbe značajno doprinjela povećanju sadržaja ugljika u tlu. U istraživanoj 2016. godini, značajno ($P_{r>F} = 0,0009$) manji sadržaj ukupnog ugljika zabilježen je ponovno na kontrolnom tretmanu (I.), dok su najveće vrijednosti ugljika zabilježene na tretmanu s primijenjenom organskom (II.) i mineralnom gnojidbom (III.). U istraživanoj 2018. godini, značajno ($P_{r>F} = 0,0004$) najmanji sadržaj ukupnog ugljika akumulirao se na kontrolnom tretmanu (I.), dok je tretman s primijenjenom organskom gnojidbom (II.) utjecao na najveći sadržaj ukupnog C. Tijekom sva tri spomenuta razdoblja, tretman s crnim ugarom (IV.) pridonjeo je značajno višoj akumulaciji ugljika u tlu u odnosu na kontrolni tretman (I.). Na istoj lokaciji i dubini, Zgorelec i sur. (2011) zabilježili su vrijednosti sadržaja ugljika u tlu od 0,42 % na kontrolnom tretmanu do 1,92 % na tretmanu s primijenjenom mineralnom gnojidbom. U istraživanju Šestak i sur. (2019) sadržaj ukupnog ugljika u tlu povećavao se paralelno s povećanjem količine gnojiva. Sukladno dobivenim rezultatima u ovom istraživanju, dugogodišnji eksperiment proveden u Njemačkoj pokazuje da su nakon 41 godinu zalihe ugljika u tlu bile veće kada su organski dodaci kombinirani s mineralnim gnojivima, u usporedbi sa samo organskim unosima ili samo mineralnim gnojivima. Taj rezultat najviše je bio vidljiv pri tretiranju s godišnjim dodatkom slame od 4 t/ha, gdje dodavanje slame tijekom 41 godine nije dovelo do drugačije zalihe ugljika u usporedbi s kontrolnim tretmanom. Međutim, kombinacija iste količine slame u kombinaciji s NPK mineralnim gnojivom dovela je do povećanja zaliha ugljika (Hijbeek i sur., 2019). Slične rezultate pokazao je i višegodišnji eksperiment u Bet Daganu u Izraelu. Nakon 30 godina, zalihe ugljika u tlu bile su veće kada su organski dodaci kombinirani s mineralnim gnojivima, u usporedbi sa samo organskim unosima ili samo mineralnim gnojivima (Bar-Yosef i Kafkafi, 2016). U svom istraživanju, Gao i sur. (2018) je otkrio da je dugoročno povećanje ugljika u tlu povezano s povećanom upotrebom gnojiva. Važno je napomenuti da specifični učinci gnojiva na sadržaj ugljika u tlu mogu varirati ovisno o vrsti korištenog gnojiva, vrsti tla, klimatskim uvjetima i praksi upravljanja. Osim toga, dok gnojiva mogu povećati ukupni sadržaj ugljika u kratkom roku, dugoročni utjecaj na skladištenje ugljika u tlu i zdravlje tla može biti složeniji i može ovisiti o različitim čimbenicima, uključujući prakse upravljanja tlom i povijest korištenja zemljišta.

5.1.3. Sadržaj ukupnog dušika u tlu

Ukupni dušik heterogeno je raspoređen u tlima, a njegova varijacija uzrokovana je višestrukim čimbenicima, uključujući matični supstrat te korištenje zemljišta (Ross i sur., 1999; Jin-Shi i sur., 2009; Wang i sur., 2009). Tijekom istraživanja 2016. godine, sadržaj ukupnog dušika na dubini 0-30 cm zabilježio je svoju značajno najmanju vrijednost na kontrolnom tretmanu (I.) (0,10 %) dok je najveću vrijednost bilježio tretman sa primijenjenom mineralnom gnojivom (III.) (0,17 %). U istraživanoj 2018. godini, sadržaj ukupnog dušika na dubini 0-30 cm zabilježio je svoju značajno najmanju vrijednost na kontrolnom tretmanu (I.) (0,10 %), dok su najveću vrijednost bilježili tretmani sa primijenjenom organskom (II.) i mineralnom (III.) gnojivom (0,15 %). Navedeni rezultati u skladu su sa podacima od Martinović (2000) koji je na pseudogleju na istoj dubini utvrdio sadržaj dušika od 0,16 %. Jurišić i sur. (2011) utvrdili su da sadržaj ukupnog dušika pri proizvodnji šećerne repe u istočnoj Hrvatskoj varira ovisno o tipu tla (eutrično smeđe i karbonatni černoze). Također, autori Wibowo i Kasno (2021) utvrdili su prosječni ukupni sadržaj dušika u pet provincija na otoku Javi s rasponom od 0,11 % do 0,17 %. U svom istraživanju, Luo i sur. (2008) utvrdili su niže vrijednosti ukupnog dušika u podpovršinskom sloju (20-40 cm) usporedno sa površinskim.

Glavne izvore dušika u tlu predstavljaju organska i mineralna gnojiva (Flessa i sur., 2000; Garz i sur., 2000; Merbach i sur., 2000). Potkrijepili su to i rezultati dobiveni u ovom radu, gdje u istraživanoj 2016. godini, najniži sadržaj ukupnog dušika bilježi kontrolni tretman, dok je najviši sadržaj ukupnog dušika zabilježen na tretmanu s primijenjenom mineralnom gnojivom. Uspoređujući ova dva tretmana, možemo reći kako je mineralna gnojivost doprinijela povećanju udjela ukupnog dušika u tlu za 70 %. U istraživanoj 2018. godini, najveći sadržaj ukupnog dušika zabilježen je na tretmanu s primijenjenom organskom i mineralnom gnojivom, što predstavlja povećanje udjela ukupnog dušika u tlu za 50 % usporedno s kontrolnim tretmanom. Sądaj i Przekwas (2008) zaključili su da je primjena mineralnih gnojiva (PK) u kombinaciji s organskim gnojivima omogućila povećanje sadržaja dušika u tlu u prosjeku za 15 %. U njihovom istraživanju, najbolji rezultati postignuti su kod mineralnih gnojiva koji su kombinirani sa stajskim gnojem, što je slučaj i u našoj istraživanoj 2018. godini. Huang i sur. (2007.) navode da se akumulacija ukupnog dušika značajno povećala kombinacijom organske i mineralne gnojivost. Mazur i Mazur (2015) u svom radu tvrde da je dugotrajna gnojivost organskim i mineralnim tvarima doprinijela povećanju udjela ukupnog dušika u tlu za 27,3 % u luvisolima i za čak 48,4 % u smeđim tlima. Ukupni sadržaj dušika u tlu imao je tendenciju povećanja kako se doza komposta povećavala (Emmerling i sur., 2010; Nguyen i sur., 2011). Zaključno, dobro razumijevanje sadržaja ukupnog dušika u tlu i povezanih čimbenika tla od velike je važnosti za

održivo upravljanje tlom i pruža osnovu za poljoprivredna mjerenja (McGrath i Zhang, 2003; Blažinkov i sur., 2015).

5.1.4. CN odnos u tlu

CN odnos, odnosno omjer ugljika prema dušiku, brz je način za procjenu ravnoteže između dvaju elemenata prisutnih u tlu, koji su ključni za rast usjeva i zdravlje mikroba. Taj odnos ovisi o uvjetima u kojima nastaje proces humifikacije, te se tako smatra da je optimalan CN odnos 10:1 (Bašić, 1995; Mesić, i sur. 2012), dok se omjer iznad 30 smatra izuzetno visokim i može rezultirati određenim nedostatkom dušika u tlu koji se javlja kao posljedica sporije razgradnje, iz razloga što mikroorganizmi ne mogu učinkovito iskoristiti dostupni dušik (Mesić, i sur. 2012). Kisić (2012) navodi kako je za brzu i kvalitetnu razgradnju potrebno povećati gnojidbu dušikom kako bi se taj odnos suzio i približio optimalnom, u suprotnome će se mikroorganizmi humifikatori za svoj ostanak koristiti rezervama dušika iz tla. Takva pojava će dovesti do privremenog nedostatka dušika za usjev, odnosno dolazi do dušične depresije. U istraživanoj 2016. godini zabilježene vrijednosti CN kretale su se od 8,4 na kontrolnom tretmanu (I.) do 9,9 na tretmanu sa primijenjenom organskom gnojidbom (II.). U istraživanoj 2018. godini zabilježene CN vrijednosti kretale su se od 7,9 na kontrolnom tretmanu (I.) do 10,2 na tretmanu sa primijenjenom organskom gnojidbom. Naposljetku, prosječan CN odnos iznosio je 9,2 za istraživanu 2016. godinu, te 9,5 za istraživanu 2018. godinu. Rezultati ovog istraživanja u skladu su s autorima Brady i Weil (2010) koji kažu da se omjer CN u Ap horizontima obradive (kultivirane) površine obično kreće od 8 do 15 (medijan = 12) i općenito je niži unutar profila tla. Slični rezultati zabilježeni su od strane autora Mahmood i sur. (2017), koji su također zabilježili i razlike između gnojidbe organskim gnojivom te gnojidbe organskim i mineralnim gnojivom. Manji CN odnos zabilježen je na tretmanu gdje je uz organski gnoj primijenjeno i mineralno gnojivo, zbog veće dostupnosti dodatnog dušika. Slično je uočeno kod Qian i Schoneau (2002) gdje je došlo do povećanja dušika u CN odnosu uslijed gnojidbe stajskim gnojivima, dok se na kontroli taj odnos znatno razlikovao. S obzirom na lokaciju, regiju, tip tla i tip ekosustava, u istraživanju Mesića i sur. (2012) od 28 uzoraka tla njih 17 imalo je CN odnos između 11 i 13, zatim je njih 6 imalo CN odnos u rasponu od 15 do 19, dok su 4 uzorka tla imala CN odnos 22, a jedan uzorak 39.

5.1.5. Mikrobiološka svojstva tla

Ukupan broj mikroorganizama u tlu uključuje razne bakterije, gljivice, aktinomicete, protozoe i druge mikroorganizme koji imaju bitnu ulogu u ekosustavu tla (Mrkonjić Fuka i sur., 2015), a njihova brojnost značajno utječe na plodnost tla, ciklus hranjivih tvari te razgradnju organske tvari. Neki od faktora koji utječu na njihovu brojnost uključuju kvalitetu organske tvari, vlažnost tla, pH vrijednost tla, temperaturu tla te prisustvo kisika u tlu. U ovom istraživanju, ukupan broj mikroorganizama kreće se od $6,9 \times 10^6$ CFU/g na tretmanu s crnim ugarom (IV.) u I. uzorkovanju, do $18,1 \times 10^6$ CFU/g na tretmanu s primijenjenom organskom gnojibom (II.) u II. uzorkovanju. U I. uzorkovanju, utvrđene su statistički značajne razlike između istraživanih tretmana za ukupan broj mikroorganizama. U navedenom uzorkovanju, shodno vremenu uzorkovanja, došlo je do promjene broja mikroorganizama. Veći broj mikroorganizama uočen je na II. tretmanu, u usporedbi s ostalim tretmanima. Može se reći kako je dodavanje stajskog gnoja odigralo važnu ulogu u povećanju broja mikroorganizama na II. tretmanu, s obzirom na činjenicu da se dodatkom stajskog gnoja unose dodatni mikroorganizmi pri čemu se tlo zagrijava. Shodno tome, veća je količina organske tvari u tlu, odnosno lako pristupačna hrana za mikroorganizme koji će tako direktno utjecati na njihovu brojnost (Semenov i sur., 2021). Watts i sur. (2010) u svom istraživanju zabilježili su 20 % veću mikrobiološku aktivnost na tretmanu sa dodatkom stajskog gnoja u usporedbi sa tretmanom bez dodatka gnoja, dok je u ovom istraživanju ta aktivnost bila veća za čak 56 %. U II. uzorkovanju, statistički značajnih razlika nije bilo. Manjak statističke razlike o broju mikroorganizama među pojedinim tretmanima se može pripisati vremenskim faktorima odnosno sezonskoj fluktuaciji. Uspoređujući I. (06.04.) i II. (23.06.) uzorkovanje, II. uzorkovanje bilježi porast brojnosti mikroorganizama na svim tretmanima. Takav porast u korelaciji je sa vremenskim uvjetima odnosno sezonalnosti. Drugim riječima, više temperature i povećana količina oborina za vrijeme II. uzorkovanja, u lipnju ($16,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $121,4\text{ mm}$) stvorile su povoljnije uvjete za aktivnost i rast mikroorganizama u usporedbi s travnjem ($12,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $51,6\text{ mm}$), što je potencijalno rezultiralo većim ukupnim brojem mikroorganizama. Slične rezultate zabilježili su autori Yaoa i sur. (2011) te Thomas i Gleixner (2013), gdje je mikrobiološka aktivnost bila povećana u kasno proljeće, odnosno rano ljeto.

Kretanje ukupnog broja gljiva bilo je od $6,5 \times 10^4$ CFU/g na tretmanu s crnim ugarom (IV.) u II. uzorkovanju, do $18,9 \times 10^4$ CFU/g na tretmanu s primijenjenom organskom gnojibom (II.) također u II. uzorkovanju. U I. uzorkovanju, zabilježene su statistički značajne razlike između istraživanih tretmana za ukupan broj gljiva, dok u II. uzorkovanju, statistički značajnih razlika nije bilo. Uspoređujući I. i II. uzorkovanje, vidljivo je smanjenje brojnosti gljiva na III. i IV. tretmanu. Iako smanjenje nije vidljivo na I. i II. tretmanu, takav rezultat može se pripisati

porastu temperature, gdje su neki sojevi gljiva manje aktivni ili čak u stanju mirovanja. Također, može doći i do konkurencije s drugim mikroorganizmima za hranjive tvari i prostor u tlu. Nadalje, kemijski tretmani poput primjene pesticida ili drugih kemijskih tvari u ljetnim mjesecima, mogu imati toksično djelovanje na gljive u tlu (Moorman, 1989; Lo, 2010; Kalia i Gosal, 2011; Blažinkov i sur., 2014). Shodno tome, smanjenje ukupnog broja gljiva na III. i IV. tretmanu može se pripisati i fungicidnim tretiranjem koje je bilo provedeno 17.05., mjesec dana prije II. uzorkovanja. Također, do povećanja broja gljiva na I. i II. tretmanu došlo je zbog utjecaja stajskog gnoja, u smislu povećanja broja hranjivih tvari. Isto tako, te hranjive tvari dovele su do povećanja saprofitnih gljiva koje se hrane organskom tvari (Obire i sur., 2008; Eo i Park, 2013). Može se reći da negnojeno tlo nema toliko pozitivnih učinaka na samo tlo. Međutim, ono ipak može dovesti do smanjenja konkurencije s drugim mikroorganizmima, što omogućuje bolji razvoj gljiva. Isto tako, dolazi i do potencijalnog očuvanja specifičnih vrsta gljiva koje nisu u konkurenciji, zbog bržeg rasta drugih mikroorganizama potaknutih organskom gnojdbom. Sukladno tome, Zhou i sur. (2016) ističu kako je u njihovom 34.-godišnjem pokusu sa gnojdbom mineralnim gnojivima došlo do smanjenja raznolikosti gljiva u tlu. Slične rezultate zabilježili su i Ding i sur. (2017) gdje je broj gljiva bio u porastu na tretmanu sa dodatkom stajskog gnoja u usporedbi sa tretmanom sa mineralnom gnojdbom. Određivanje ukupnog broja bakterija i gljiva u tlima jedan je od glavnih pokazatelja biogenosti tla. Na osnovu dobivenih rezultata, može se reći da se u uzorcima tla radi o slaboj biogenosti (prema kriteriju za procjenu biogenosti tla (Redžepović (1985).

Zastupljenost amonifikatora, odnosno skupine mikroorganizama koji vrše razgradnju proteinskih tvari, kreće se od $6,9 \times 10^5$ CFU/g na tretmanu s primijenjenom organskom gnojdbom (II.) u II. uzorkovanju, do $24,0 \times 10^5$ CFU/g na kontrolnom tretmanu (I.) također u II. uzorkovanju. U I. uzorkovanju, utvrđene su statistički značajne razlike između istraživanih tretmana za sadržaj amonifikatora, dok u II. uzorkovanju statistički značajnih razlika nije bilo. Uspoređujući prvo i drugo uzorkovanje, vidljiv je porast broja amonifikatora na tretmanima I. i II. u drugom uzorkovanju. Taj porast može se pripisati porastu temperature, te prisutnosti hranjivih tvari na tretmanu sa dodatkom organskog gnojiva. Također, do porasta amonifikatora dolazi zbog razvoja korijenja biljke koje izlučuju tvari pogodne za njihov razvoj (Acea i Carballas, 1988; Pešaković i sur., 2003; Chemistry world, 2023). Prekomjernim dodavanjem mineralnog gnojiva, pogotovo dušika, utječe se na intenzivan porast biljaka, koje trošenjem dostupnih resursa smanjuju dostupnost dušika amonifikatorima. S druge strane, crni ugar imati će pozitivan utjecaj na organsku tvar u tlu te na vlažnost tla, ali isto tako može stvoriti nepovoljne uvjete za razvoj amonifikatora, koji nisu rezistentni na prekomjernu vlagu (Fu-sheng i sur., 2005; Morison i sur., 2018) i zasićenje organskom tvari. Suprotne rezultate

zabilježili su Burger i Jackson (2002) gdje je organska tvar imala pozitivan učinak na amonifikaciju tj. amonifikatore.

Postotak celulolitičkih bakterija kretao se od 6,7 % na tretmanu s primijenjenom mineralnom gnojdbom (III.) u II. uzorkovanju, do 28 % na tretmanu s crnim ugarom (IV.) u I. uzorkovanju. Zastupljenost celulolitičkih bakterija snižena je na svim tretmanima u II. uzorkovanju u odnosu na I. U pogledu celulolitičkih gljiva, postotak se kretao od 12,3 % na tretmanu s primijenjenom mineralnom gnojdbom (III.) u II. uzorkovanju do 40,7 % na kontrolnom tretmanu (I.) također u II. uzorkovanju. U I. uzorkovanju, statistički značajne razlike između istraživanih tretmana za postotak celulolitičkih gljiva nisu utvrđene, dok su u II. uzorkovanju statistički značajne razlike prisutne između pojedinih tretmana. Uspoređujući I. i II. uzorkovanje, vidljiva je snižena zastupljenost celulolitičkih gljiva na većini tretmana. Ovakvi rezultati očekivani su zbog sezonske fluktuacije nekoliko faktora, kao što su temperatura, vlaga, dostupnost organske tvari te konkurencija s drugim mikroorganizmima. U ovom istraživanju, smatra se da je na njihovu zastupljenost utjecao porast temperature i pojava drugih mikroorganizama u tlu koji se smatraju izravnom konkurencijom za hranjiva (Henriksen i Breland, 2002; Luque i sur., 2005; Berlemont i sur., 2014; Wilhelm i sur., 2021).

Metabolička aktivnost mikroorganizama u tlu, odnosno dehidrogenazna aktivnost kretala se od $5,6 \mu\text{g TPF g}^{-1} \text{ dm } 16\text{h}^{-1}$ na tretmanu s crnim ugarom (IV.) u II. uzorkovanju do $32,9 \mu\text{g TPF g}^{-1} \text{ dm } 16\text{h}^{-1}$ na tretmanu s primijenjenom organskom gnojdbom (II.) u I. uzorkovanju. Statistički značajne razlike između istraživanih tretmana za dehidrogenaznu aktivnost u tlu između pojedinih tretmana utvrđene su u II. uzorkovanju. U II. uzorkovanju, uočljivo je sniženje dehidrogenazne aktivnosti na gotovo svim tretmanima izuzev tretmana s primijenjenom mineralnom gnojdbom. Dehidrogenazna aktivnost bila je značajno veća na I. i II. tretmanu i u I. i u II. uzorkovanju u usporedbi sa III. i IV. tretmanom. Povećanje aktivnosti bilo je očekivano, shodno unosu organske tvari u tlo što osigurava obilje organske tvari kao izvor hrane za mikroorganizme, koji sudjeluju u dehidrogenaznoj aktivnosti. Također, do velike dostupnosti hranjivih tvari doći će i na tretmanima sa primijenjenom mineralnom gnojdbom, gdje mikroorganizmi mogu preferirati iskorištavanje tih hranjivih tvari umjesto sudjelovanja u dehidrogenaznoj aktivnosti (Chu i sur., 2007). Također, prisutnost stajskog gnoja uvelike mijenja interakciju različitih vrsta mikroorganizma u tlu koji utječu na dehidrogenaznu aktivnost (Mierzwa-Hersztek i sur., 2020).

5.2. EMISIJA UGLJIKOVOG DIOKSIDA IZ TLA

5.2.1. Prosječne godišnje vrijednosti emisije ugljikovog dioksida iz tla te agroekoloških čimbenika

Prosječne godišnje vrijednosti temperature tla između istraživane 2016. i 2017. godine gotovo se uopće nisu razlikovale. Nešto niža prosječna vrijednost temperature tla zabilježena je u istraživanoj 2018. godini u odnosu na prethodne dvije. Vrijednost prosječne temperature tla bila je niža za 2,23 °C u odnosu na 2016. godinu, te za 2,52 °C u odnosu na istraživanu 2017. godinu. Prosječne godišnje vrijednosti vlage tla bile su varijabilne tokom sve tri godine, a najveća razlika od 9,02 % zabilježena je između 2016. godine gdje je zabilježena najveća prosječna godišnja vrijednost vlage u tlu (25,76 %) i 2018. godine gdje je zabilježena najmanja prosječna vrijednost vlage u tlu (16,74 %). Značajan utjecaj na vlažnost tla može se pripisati količini oborine čija je godišnja suma bila najveća upravo u 2016. godini (1024,3 mm) a najmanja u 2018. godini (924,1 mm). Također, važno je naglasiti kako porastom temperature stope isparavanja imaju tendenciju povećanja, što potencijalno dovodi do sušnijih uvjeta tla ako količina oborina ostane konstantna ili se smanji kao u ovom slučaju. Upravo taj odnos može objasniti niže razine vlage u tlu u 2018. godini unatoč nešto višim temperaturama u usporedbi s prethodnim godinama.

Prosječne godišnje vrijednosti emisije C-CO₂ u tlu bile su niže tijekom uzgoja kukuruza i soje u usporedbi s vegetacijskom sezonom ozime pšenice. Prosječne godišnje vrijednosti emisije C-CO₂ između tri istraživane godine iznosile su 17,96 kg ha⁻¹ dan⁻¹ u vegetaciji pšenice (2016. godina), 11,19 kg ha⁻¹ dan⁻¹ u vegetaciji kukuruza (2017. godina) i 13,17 kg ha⁻¹ dan⁻¹ u vegetaciji soje (2018. godina). U prosječnoj godišnjoj emisiji C-CO₂, statistički značajna razlika zabilježena je između 2016. i 2017. godine. Tako, možemo reći da je emisija C-CO₂ tijekom uzgoja kukuruza bila 37,7 % niža od emisije C-CO₂ iz tla za vrijeme uzgoja ozime pšenice. Iako nema statistički značajne razlike, emisija C-CO₂ tijekom uzgoja soje, bila je 26,7 % niža od emisije tijekom vegetacije ozime pšenice, te 15,0 % niža od emisije tijekom vegetacije kukuruza. Dobiveni rezultati u skladu su sa autorima Bilandžija i sur. (2016)., koji su zabilježili veće godišnje emisije u vegetaciji ozime pšenice nego u vegetaciji kukuruza. Također, u istraživanju Wiśniewski i Kistowski (2020), najveće prosječne godišnje emisije ostvarene su za pšenicu, zatim za kukuruz, tritikale te raž. U istraživanju Drury i sur. (2007) monokultura ozime pšenice imala je oko 45 % veću godišnju emisiju CO₂ od kukuruza te 51 % veću godišnju emisiju od soje. Suprotne rezultate zabilježili su autori Zhai i sur. (2011.) te Dhadli i sur. (2015) koji su utvrdili veće emisije CO₂ u vegetaciji kukuruza nego pšenice. Nešto više godišnje vrijednosti emisije u odnosu na istraživanu 2017. godinu utvrdili su autori Ussiri i

Lal (2009) koji su u vegetaciji kukuruza zabilježili emisiju od $19,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dan}^{-1}$. Nadalje, Norberg i sur. (2016) dokazali su da nema značajnih razlika u emisijama CO_2 iz tla pod različitim usjevima u sličnim uvjetima okoliša na 11 pokusnih polja u Švedskoj.

5.2.2. Prosječne mjesečne vrijednosti emisije ugljikovog dioksida iz tla te agroekoloških čimbenika

Prosječne mjesečne vrijednosti temperature tla između 2016., 2017. i 2018. varirale su tokom istraživanih mjeseci. Između istraživane 2016. i 2017. godine raspon prosječnih mjesečnih temperatura tla bio je sličan, dok je za 2018. godinu raspon prosječnih mjesečnih temperatura tla bio niži za $6,6 \text{ }^\circ\text{C}$ odnosno $3,0 \text{ }^\circ\text{C}$ usporedno sa 2017. godinom, te niži za $5,9 \text{ }^\circ\text{C}$ odnosno $6,3 \text{ }^\circ\text{C}$ usporedno sa 2016. godinom. Rasponi prosječnih mjesečnih vrijednosti vlage tla također su varirali ovisno o istraživanoj godini, a znatno veći raspon od istraživane 2016. godine zabilježile su 2017. i 2018. godina.

Prosječna mjesečna emisija C- CO_2 iz tla u istraživanoj 2016. godini, u vegetaciji ozime pšenice bila je zamjetno niža nakon žetve, kada biljni pokrov više nije bio prisutan na pokusnom polju (kolovoz, rujna i studeni) u odnosu na razdoblje sa prisutnošću usjeva (svibanj, lipanj i srpanj). Ovakvim rezultatima odgovara i mjesečna količina oborine koja je bila povećana u svibnju, lipnju i srpnju, za razliku od sušnijeg kolovoza i rujna. Najveća statistički značajna razlika između prosječnih mjesečnih emisija C- CO_2 iz tla tijekom istraživanog razdoblja zabilježena je između studenog ($3,06 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dan}^{-1}$) i lipnja ($34,85 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dan}^{-1}$). Uzevši u obzir da više temperature zraka, osobito u mjesecima aktivnog rasta, koincidiraju s povećanjem emisije CO_2 u tom razdoblju, najveću zabilježenu emisiju izmjerenu u lipnju možemo pripisati i visokoj srednjoj mjesečnoj temperaturi zraka u tom mjesecu ($33,3 \text{ }^\circ\text{C}$).

Prosječna mjesečna emisija C- CO_2 iz tla u istraživanoj 2017. godini, u vegetaciji kukuruza bila je prilično varijabilna. To se može pripisati većem kolebanju temperature i vlage tla tijekom ljetnog perioda, kao i nastupanju određene faze razvoja usjeva, što može dovesti do smanjenja emisija CO_2 . Najveća prosječna mjesečna emisija C- CO_2 zabilježena je dva mjeseca nakon sjetve, u lipnju, i iznosila je $31,18 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dan}^{-1}$, dok je najmanja emisija zabilježena u studenom ($2,27 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dan}^{-1}$). Više prosječne temperature tijekom ljetnih mjeseci, kao što su imali lipanj ($22,8 \text{ }^\circ\text{C}$) i srpanj ($23,7 \text{ }^\circ\text{C}$), u skladu su s višim emisijama CO_2 . Između navedenih vrijednosti, zabilježena je najveća statistički značajna razlika kroz istraživani period u vegetaciji kukuruza.

Prosječna mjesečna emisija C-CO₂ iz tla u istraživanoj 2018. godini, u vegetaciji soje paralelno se povećavala s rastom i bujanjem vegetacije. Emisije su bile zamjetno niže u mjesecima bez biljnog pokrova (siječanj i ožujak), nakon čega su se povećavale od sjetve u travnju pa sve do srpnja. Vrlo mali pad emisije nastupio je u kolovozu, nakon čega je u rujnu poslije provedene žetve, emisija pala za 50 % u odnosu na kolovoz. Može se reći kako su trendovi u emisijama usklađeni s promjenama temperature i oborina za navedenu godinu. Topliji mjeseci s odgovarajućim razinama vlage odgovarali su većim emisijama. Najveća statistički značajna razlika između prosječnih mjesečnih emisija C-CO₂ iz tla tijekom istraživanog razdoblja zabilježena je između siječnja (2,74 kg ha⁻¹ dan⁻¹) i srpnja (24,30 kg ha⁻¹ dan⁻¹).

Promatrajući sve tri istraživane godine zajedno, može se zaključiti da promjene godišnjih doba igraju ključnu ulogu u utjecaju na razine CO₂ u atmosferi. To potvrđuju i Galić i sur. (2019a) koji navode kako se promjenom godišnjih doba mijenjaju i emisije C-CO₂ iz tla. Glavni čimbenici koji utječu na sezonsku varijabilnost mogu ovisiti o vrsti ekosustava i klimi područja (Bilandžija i sur., 2016). Tako, najveći utjecaj na sezonsku varijabilnost uglavnom uzrokuju promjene u temperaturama tla i zraka, sadržaju vode u tlu, fotosintezi i/ili njihovim međudjelovanjima. Pregledom literature nekoliko autora utvrdilo je veću emisiju CO₂ tokom ljetnog perioda, a najmanju tokom zime (Song i sur.; 2009; Ussiri i Lal, 2009; Galić i sur., 2020). Munjonji i sur. (2021) zabilježio je 50 % veću prosječnu emisiju CO₂ u vegetaciji pšenice u ljetnoj sezoni nego za vrijeme zime. Lou i sur. (2004) utvrdili su redosljed kretanja emisija CO₂ tijekom uzgoja prosa i ječma kako slijedi: ljeto > proljeće > jesen > zima. Jednako kretanje emisija CO₂ kroz godišnja doba zabilježili su i Chen i sur. (2017). U svom radu Bilandžija i sur. (2015) prikazuju kako su tijekom vegetacije kukuruza najviše prosječne vrijednosti emisije C-CO₂ zabilježene od lipnja do kolovoza (23,23 kg ha⁻¹ dan⁻¹), a najniže u jesenskim mjesecima od rujna do studenog (12,1 kg ha⁻¹ dan⁻¹). Nadalje, autori navode kako su slijedeće godine, u vegetaciji ozime pšenice, najviše vrijednosti emisije C-CO₂ zabilježene u istim mjesecima kao i kod vegetacije kukuruza, dok su u proljetnim mjesecima emisije bile najniže. U istraživanju Kurganova i sur. (2003) stoji da su tokovi CO₂ činili približno 48-51 % ljeti, 23-24 % u jesen, 18-20 % u proljeće i 7-10 % zimi ukupnog godišnjeg toka CO₂. U istraživanoj 2016. godini, tokovi CO₂ činili su 62 % u ljeto, 31 % u proljeće i 7 % u jesen ukupnog godišnjeg toka CO₂. U 2017. godini, tokovi CO₂ činili su 58 % u ljeto, 16 % u proljeće i 27 % u jesen ukupnog godišnjeg toka CO₂, dok se za 2018. godinu taj postotak kretao 65 % u ljeto, 21 % u proljeće, 12 % u jesen i 2 % u zimu.

Emisije CO₂ iz tla najveće su tijekom ranih vegetativnih faza rasta, a zatim opadaju u reproduktivnim fazama i fazama starenja (Salinas-Alcántara i sur., 2022). Upravo takav trend emisija CO₂ prikazuju rezultati nastali u istraživanoj 2016. godini, gdje uz optimalne

agroekološke uvjete i s razvojem ozime pšenice, rastu i emisije iz tla. Zanimljiv preokret donose rezultati prosječnih emisija CO₂ izmjerenih na drugom mjerenju u srpnju, gdje je 6 dana nakon žetve emisija CO₂ zabilježila porast u odnosu na mjerenje u istom mjesecu prije žetve. Kao razlog tome, može se navesti maloprije spomenuta faza starenja u kojoj dolazi do opadanja emisija. Također, razgradnja ostataka može biti jedan od razloga veće emisije, gdje nakon žetve ozime pšenice na polju obično ostane značajna količina ostataka usjeva. Tako mikroba aktivnost u tlu razgrađuje organsku tvar, proizvodeći CO₂ kao nusprodukt. Nadalje, tu su i agroekološki čimbenici, temperatura i vlažnost tla. Samo dan prije mjerenja padala je kiša, što je povećalo sadržaj vode u tlu a istovremeno smanjilo temperaturu tla, što također može objasniti veće emisije nakon žetve u srpnju. Povećane stope disanja tla kada se sadržaj vode u tlu povećao zbog kiše, utvrdili su i Grahammer i sur. (1991). Povećanje emisija CO₂ iz tla s povećanjem vlažnosti tla zabilježena je od strane nekoliko autora (Dilekoglu i Sakin, 2017; Zhang i sur., 2020). Temperatura tla je kroz istraživani period pokazala svoju varijabilnost i možemo reći da je, izuzev spomenutog srpnja, pratila trend rasta i pada emisija CO₂.

U istraživanoj 2017. godini, visoki sadržaj vlage u tlu te visoka temperatura u lipnju doprinjeli su i najvećoj emisiji CO₂ zabilježenoj u navedenoj vegetacijskoj godini. Zbog utjecaja na razne biološke i kemijske procese, kombinacija povećanih razina ovih dvaju faktora itekako može doprinjeti većim emisijama CO₂, što je utvrdila i nekolicina autora u svojim istraživanjima (Moore i Dalva, 1997; Lu i sur., 2015; Dong i sur., 2017). Smanjenje emisije CO₂ zajedno sa smanjenjem vlage u tlu zabilježeno je u srpnju i kolovozu, dok je paralelno temperatura tla bila povećana. Bilandžija i sur. (2014) povećanu emisiju CO₂ s porastom temperature tla pripisuju većoj biološkoj aktivnosti tla. Hashimoto i Komatsu (2006) kažu da se u njihovom istraživanju tok CO₂ na površini tla povećavao s porastom temperature, što možemo potkrijepiti i navodom autora Smith i sur. (2003) koji su zaključili da emisije CO₂ prvenstveno ovise o temperaturi tla.

Povećanje emisija CO₂ paralelno s povećanjem temperature tla zabilježeno je kroz gotovo cijeli vegetacijski period 2018. godine, gdje se temperatura tla povećavala dolaskom toplijih mjeseci a ujedno s njom i emisija. Jednake rezultate dobili su i autori Gillooly i sur. (2001). U siječnju i ožujku, vrlo niske temperature tla te visoki sadržaj vlage u tlu uzrokovali su i niže emisije CO₂, što su utvrdili i Bajracharya i sur. (2000). Kombinacija nižeg sadržaja vlage u tlu sa višim temperaturama tla uslijedila je od travnja do kolovoza, kada se ovakvo stanje može pripisati već gore spomenutim čimbenicima.

5.2.3. Utjecaj gnojidbe tla na emisiju ugljikovog dioksida iz tla

Usprkos utjecaju fizikalno-mehaničkih, kemijskih ili bioloških svojstava na proizvodnju stakleničkih plinova, prakse upravljanja tlom pogoduju mikrobnj aktivnosti, a samim time djeluju i na emisije CO₂. Prema autorima Xu i Qiao (2018) tlo obradivog zemljišta predstavlja glavni izvor emisije stakleničkih plinova, gdje kombinirana primjena različitih gnojiva može značajno utjecati na respiraciju tla. Tako, primjena mineralnih ili organskih gnojiva od velike je važnosti za emisije CO₂ koje također mogu biti varijabilne shodno promjenama u količini i kemijskom sastavu gnojiva primijenjenog na tlo (Rahman i sur., 2016). Iako primjena gnojiva može opskrbiti tlo dušikom, ona može uzrokovati smanjenje poroznosti tla, spriječiti rast mikroorganizama i disanje korijena biljaka, čime se smanjuje i protok CO₂ (Phillips i Fahey, 2007; He i sur., 2013).

Prosječne godišnje vrijednosti emisije C-CO₂ iz tla po gnojidbenim tretmanima statistički su se značajno razlikovale samo u prvoj vegetacijskoj godini, odnosno za vrijeme vegetacije ozime pšenice, a kretale su se od 8,79 kg ha⁻¹ dan⁻¹ do 25,73 kg ha⁻¹ dan⁻¹. Dobiveni rezultati u skladu su sa rezultatima iz SAD-a gdje se prosječna godišnja emisija CO₂ u vegetaciji ozime pšenice kretala od 6,9 do 20,1 kg ha⁻¹ dan⁻¹ (Kessavalou i sur., 1999). Statistički značajne razlike zabilježene su između tretmana s organskom gnojidbom i crnog ugara, te između tretmana s mineralnom gnojidbom i crnog ugara. Iako se tretmani međusobno nisu statistički razlikovali, razlike između organske i mineralne gnojidbe su vidljive. Jednako su utvrdili i Ding i sur. (2007), gdje je dodavanje organskog gnojiva u vegetaciji pšenice pridonijelo povećanju emisije CO₂ u tlu od 16 % u usporedbi s primijenjenim NPK gnojivom, dok je u ovom istraživanju u vegetaciji pšenice taj postotak bio nešto manji, 5,6 %. Primjena mineralnog gnojiva u količini od 300 kg ha⁻¹ N godišnje također je povećala emisije C-CO₂ (Ding i sur., 2007), što se podudara sa dobivenim rezultatima ovog istraživanja tijekom vegetacije kukuruza i soje. Tijekom sve tri godine istraživanja, najniže prosječne godišnje vrijednosti emisije C-CO₂ bilježio je tretman s crnim ugarom (od 7,71 kg ha⁻¹ dan⁻¹ do 9,35 kg ha⁻¹ dan⁻¹), a slično su utvrdili i Bilandžija i sur. (2014), čije su prosječne godišnje vrijednosti emisije na crnom ugaru iznosile 7,9 kg ha⁻¹ dan⁻¹. Rezultati dobiveni od strane Sosulski i sur. (2020) u skladu su s našim istraživanjem kroz sve tri godine, gdje autori navode kako su emisije C-CO₂ iz tala gnojenih dušikom bile veće za 20 % nego emisije mjerene na golom tlu. Tako, rezultati dobiveni za 2016. godinu pokazuju 177 %, za 2017. godinu 35 % te za 2018. godinu 116 % veće emisije iz tala gnojenih dušikom usporedno s golim tlom.

U vegetaciji ozime pšenice, kretanje emisija C-CO₂ ovisno o gnojidbenim tretmanima bilo je popraćeno statistički značajnim razlikama između četiri istraživana tretmana u svim

istraživanim mjesecima osim u kolovozu. U vegetaciji kukuruza, statistički značajne razlike između četiri istraživana tretmana javile su se u svim istraživanim mjesecima izuzev listopada i studenog, dok su u vegetaciji soje to bili svi mjeseci osim svibnja. Utjecaj prisutnosti biljnog pokrova na emisiju C-CO₂ iz tla prikazuju dobiveni rezultati, gdje je najniže emisije C-CO₂ u gotovo svim mjesecima, u sve tri godine istraživanja, bilježio tretman s crnim ugarom. Izraženo smanjenje emisija C-CO₂ primijećeno na tretmanu s crnim ugarom naglašava neizostavnu ulogu biljnog pokrova u vezanju ugljika te smanjenju gubitka ugljika iz tla. Tako, emisija C-CO₂ na tretmanima s biljnim pokrovima kroz tri godine istraživanja bila je od 1,3 do 2,4 puta viša u odnosu na emisiju C-CO₂ iz tla na tretmanu s crnim ugarom. U istraživanju Yilmaz (2019) emisije CO₂ u tlu pod kukuruzom i ozimom pšenicom pokazale su jasno veće emisije u usporedbi s golim tlima. U nastavku, autori navode kako su prema prosječnim tjednim emisijama, tla pod navedenim kulturama emitirala 38 % više CO₂ od golih tala. Hirsch i sur. (2009) navode da je golo tlo na crnom ugaru podržavalo manje raznolike mikrobne i mezofaunalne zajednice od tla s prisutnom vegetacijom, kao posljedicu izostanka godišnjeg unosa svježih organskih ostataka biljnog podrijetla, što se u konačnici odrazilo i na same emisije.

Analizirajući utjecaj organske i mineralne gnojidbe na emisije C-CO₂ iz tla te prinos, za sve tri navedene kulture, zabilježeni prinos bio je veći na tretmanu s primijenjenom mineralnom gnojdbom nego na tretmanu s primijenjenom organskom gnojdbom. Statistički značajne razlike u vegetaciji ozime pšenice između tretmana s organskom i mineralnom gnojdbom u pogledu emisija C-CO₂ zabilježene su u travnju i rujnu, u vegetaciji soje u siječnju i lipnju, dok u vegetaciji kukuruza između tretmana s organskom i mineralnom gnojdbom statistički značajnih razlika u emisijama C-CO₂ nije bilo. U vegetaciji ozime pšenice, najviša prosječna izmjerena emisija C-CO₂ na tretmanu s primijenjenom organskom gnojdbom iznosila je 46,11 kg ha⁻¹ dan⁻¹, dok je najviša izmjerena emisija C-CO₂ na tretmanu s primijenjenom mineralnom gnojdbom iznosila 54,33 kg ha⁻¹ dan⁻¹. U vegetaciji kukuruza, najviša prosječna izmjerena emisija C-CO₂ na tretmanu s primijenjenom organskom gnojdbom iznosila je 33,53 kg ha⁻¹ dan⁻¹, dok je najviša izmjerena emisija C-CO₂ na tretmanu s primijenjenom mineralnom gnojdbom iznosila 38,21 kg ha⁻¹ dan⁻¹. U vegetaciji soje, najviša prosječna izmjerena emisija C-CO₂ na tretmanu s primijenjenom organskom gnojdbom iznosila je 29,77 kg ha⁻¹ dan⁻¹, dok je najviša izmjerena emisija C-CO₂ na tretmanu s primijenjenom mineralnom gnojdbom iznosila 37,89 kg ha⁻¹ dan⁻¹. Dobiveni rezultati prinosa i emisija C-CO₂ na tretmanima s primijenjenom organskom i mineralnom gnojdbom pokazuju da primjena organske gnojdbbe potencijalno može dovesti do nižih emisija C-CO₂ u usporedbi s mineralnom gnojdbom, a da pritom ne uzrokuje značajno smanjenje prinosa. U pogledu gnojdbbe i emisije C-CO₂, Zhang i sur. (2019) zabilježio je jednake rezultate. Suprotne rezultate dobili su Verdi i sur. (2018), gdje

je primjena organskog gnojiva značajno povećala emisije CO₂ iz tla u vegetaciji kukuruza, u usporedbi s konvencionalnim gnojivom (urea). Na temelju dobivenih rezultata autori su zaključili da su povećane emisije CO₂ iz tla uglavnom bile posljedica kombiniranog učinka visokih temperatura i suše koji su se pojavili tijekom eksperimenta. Ren i sur. (2017) kombinirali su podatke iz 379 zapažanja u Kini čiji su rezultati pokazali značajan utjecaj stajskog gnoja na emisije CO₂ usporedno s mineralnim gnojivima ili tretmanima bez gnojidbe. Wilson i Al-Kaisi (2008) i Mignon i sur. (2011) također su zabilježili niže emisije za mineralno gnojena tla. Unatoč tome što su prethodno spomenute najviše prosječne vrijednosti u sve tri vegetacijske godine bile više na tretmanu s primijenjenom organskom gnojidbom nego na tretmanu s primijenjenom mineralnom gnojidbom, promatranje cijelog perioda tijekom vegetacije ozime pšenice, kukuruza i soje po istraživanim mjesecima, pokazuje kako je utjecaj organske i mineralne gnojidbe na vrijednosti emisije C-CO₂ bio varijabilan. Općenito, utjecaj gnojidbe na protok stakleničkih plinova iz tla opisan je kroz nekolicinu istraživanja (Chen i sur., 2017; Liu i sur., 2018). Tako, prema literaturnim podacima, intenzivna mineralna i organska gnojidba mogu imati krajnje različit učinak na emisiju CO₂ iz tla. U radu Feiziene i sur. (2011) dušična gnojidba povećala je rast biljaka i mikrobnu aktivnost tla, što je utjecalo na veće emisije C-CO₂ iz tla. Sainju i sur. (2008) izvijestili su da su se emisije C-CO₂ iz tla povećale za približno 14 % nakon primjene dušičnog gnojiva u dozi od 150 kg N ha⁻¹. Dhadli i Brar (2016) izvijestili su da povećanje doze gnojidbe mineralnim dušikom povećava emisije C-CO₂ u tlu u manjoj mjeri nego dodatna doza stajnjaka.

Uspoređujući mineralno gnojene tretmane s kontrolnim tretmanima, kroz tri godine istraživanja, za većinu mjeseci emisije C-CO₂ bile su veće do čak 76 % na tretmanima s primijenjenom mineralnom gnojidbom. U nekim mjesecima, situacija je bila obrnuta, posebice za vrijeme vegetacije soje, ili su emisije na ta dva tretmana bile podjednake. Zhang i sur. (2014) identificirali su emisije CO₂ u tlu nakon kontinuirane primjene nekoliko vrsta mineralnih gnojiva kroz dvije godine istraživanja, te zabilježili veće emisije CO₂ u svim mineralno gnojenim tretmanima usporedno s kontrolnim tretmanima. Promatranjem tri godine zajedno, između navedenih tretmana zabilježene su statistički značajne razlike. Suprotno rezultatima ovog istraživanja, Rochette i Gregorich (1998) proučavali su učinke trogodišnje primjene dušičnih gnojiva (200 kg N ha⁻¹) i različitih dodataka gnojivu u vegetaciji kukuruza na emisije CO₂, te izvijestili da nema značajnih razlika između emisija CO₂ iz tla na tretmanima s primijenjenom mineralnom gnojidbom i kontrolnim tlima.

Statistički značajne razlike između tretmana s primijenjenom organskom gnojidbom i kontrolnog tretmana, zabilježene su kroz sve tri godine istraživanja. Vegetacija ozime pšenice zabilježila je veću emisiju na gnojenom nego na kontrolnom tretmanu kroz sve mjesece istraživanja, osim u kolovozu, gdje je nakon žetve emisija na oba tretmana bila jednaka.

Doprinos ozime pšenice 60 % većim emisijama usporedno s kukuruzom, odnosno 37 % većim emisijama usporedno s sojom, može biti pripisan razgranatom i bogatom korjenovom sustavu koji kao takav ima veću površinu za disanje i veću potrebu za kisikom, što u konačnici dovodi do povećanje proizvodnje CO₂ kroz disanje korijena. Također, takav korijenov sustav sadrži više organske tvari, što osigurava stalni izvor ugljika za mikrobe u tlu. Utjecaj primjene organskog gnojiva u polju kukuruza proučavali su Amos i sur. (2005) te dokumentirali povećanje protoka CO₂ od 64 % u usporedbi s kontrolnim tretmanom. U istraživanju Ray i sur. (2020) dobiveni rezultati također su pokazali da su sve vrste organskog gnojiva i njihove primijenjene doze imale veće emisije CO₂ od kontrolnih tretmana. U vegetaciji soje, od ožujka do lipnja kontrolni tretman je bilježio veće emisije od tretmana s primijenjenom organskom gnojivom. Prema Cassia i sur. (2018), u kontrolnom tretmanu, gdje se ne primjenjuju organska gnojiva, biljke se mogu suočiti s nedostatkom hranjivih tvari, što može rezultirati stresom i pojačanim disanjem, što dovodi do većih emisija CO₂.

Općenito, iz svega navedenoga zaključuje se da emisije CO₂ iz tla ne ovise isključivo samo o gnojivima ili samo o agroekološkim čimbenicima, već o složenom međudjelovanju više faktora koji zajedno oblikuju dinamiku ugljika u ekosustavima i poljoprivrednim okruženjima, i koje je kao takve, potrebno maksimalno povezati.

5.2.4. Utjecaj agroekoloških čimbenika na emisiju ugljikovog dioksida iz tla

5.2.4.1. Temperatura tla

Odnos između temperature tla i emisije ugljikovog dioksida iz tla predstavlja važan aspekt dinamike ugljika u ekosustavu. Naime, promjene temperature tla mogu značajno utjecati na brzinu otpuštanja CO₂ s površine Zemlje, igrajući ključnu ulogu u globalnom ciklusu ugljika. U ovom istraživanju, regresijska analiza kojom se analizirala ovisnost emisije C-CO₂ iz tla i temperature tla na dubini od 10 cm, za 2016. godinu pokazala je vrlo slabu ovisnost za tri vrste funkcionalne veze (linearnu, eksponencijalnu i kvadratnu), dok za logaritamsku vezu ovisnosti nema. Za navedenu godinu, kvadratna regresija je pokazala najbolju vezu, gdje 5,6 % izmjerenih vrijednosti parametara emisije C-CO₂ iz tla ovisi o temperaturi tla. Prosječne mjesečne temperature zraka u 2016. godini postupno su rasle od siječnja do lipnja, s najviše 23,5 °C u srpnju, a potom su postupno padale. Unatoč širokom temperaturnom rasponu od -9,6 °C za T_{min} odnosno 35,3 °C za T_{max}, odnos između temperature tla i emisije CO₂ ostao je slab. U istraživanoj 2017. godini, utvrđena je slaba ovisnost za sve četiri vrste funkcionalne veze. Prema vrijednostima koeficijenta determinacije, eksponencijalna regresija pokazuje

najbolju vezu, gdje 14 % izmjerenih vrijednosti parametara emisije C-CO₂ iz tla ovisi o temperaturi tla. Kao i u prethodnoj godini, istraživanja 2017. imala je sličan raspon mjesečnih temperatura zraka, dok je količina oborina bila nešto manja. S obzirom na klimatske parametre, količina oborina zajedno s različitim temperaturama, mogla je posljedično utjecati na emisije CO₂. U 2018. godini, također je utvrđena slaba ovisnost za sve četiri vrste funkcionalne veze, a kvadratna regresija pokazuje najbolju vezu, gdje 15 % izmjerenih vrijednosti parametara emisije C-CO₂ iz tla ovisi o temperaturi tla. Iako se temperatura tla smatra jednim od važnijih čimbenika koji utječu na emisije CO₂, i u 2018. godini, slično kao i u prethodne dvije godine, zabilježeni rezultati sugeriraju da drugi čimbenici okoliša vjerojatno igraju jednaku ili utjecajnu ulogu u regulaciji dinamike CO₂ unutar proučavanog razdoblja.

Odnos između temperature tla i emisije CO₂ vrlo je složen (Yuste i sur., 2007; Vicentini i sur., 2019). Tu složenost i varijabilnost rezultata potvrđuju i mnoga istraživanja na temu, gdje su utvrđene različite jačine ovisnosti između emisije ugljikovog dioksida iz tla i temperature tla. Prema Zhao i sur. (2020) i Gao i sur. (2020), brzina disanja tla često je u pozitivnoj korelaciji s temperaturom tla. Takva korelacija može se pripisati povoljnim uvjetima, koje više temperature stvaraju za rast i aktivnost mikroorganizama u tlu, a tako povoljni uvjeti stimuliraju oslobađanje ugljičnog dioksida iz tla (Zhang i sur., 2022). U skladu s provedenim istraživanjem, Liang i sur. (2013), Chanda i sur. (2014) te Tomotsune i sur. (2018) također su zabilježili slične rezultate sa slabom pozitivnom korelacijom između temperature tla i CO₂. Uzevši u obzir maloprije spomenutu složenost između temperature tla i emisije CO₂, rezultati dobiveni u kontekstu slabe korelacije mogu se pripisati različitim temperaturnim optimumima prikladnim za različite aktivnosti pojedinih skupina mikroorganizama (Warembourg i sur., 2003; Garcia i sur., 2005). Ovisno o sezoni mjerenja, u radu Kononov i sur. (2008) ovisnost se kretala od jake ($r = 0,59$) do potpune ($r = 0,92$) u prvoj polovici godine, a jednako tako se kretala i u drugom dijelu godine, od $r = 0,73$ do $r = 0,95$. U istraživanju Kautzman (2019), autor je utvrdio vrlo slabu ovisnost između emisije CO₂ i temperature tla u proljeće ($r = 0,13$), slabu ovisnost na ljeto ($r = 0,23$) te jaku ($r = 0,66$) na jesen. Jaka korelacija zabilježena je također kod autora Kuriyama i sur. (2021) te Wang i Yang (2018) u iznosu od $r = 0,56$. Srednja linearna korelacija ($r = 0,45$) utvrđena je od strane autora Mathiba i sur. (2014). Negativna korelacija između emisija CO₂ i temperature tla ($r = -0,98$) utvrđena je u radu Buragiene i sur. (2019). Također, Yerli i sur. (2023) isto utvrđuju negativnu korelaciju između emisija CO₂ i temperature tla mjerene na 5 cm dubine ($r = -0,43$) te temperature tla mjerene na 10 cm dubine ($r = -0,51$).

5.2.4.2. Količina vode u tlu

Sadržaj odnosno količina vode u tlu predstavlja važan faktor kada se govori o emisijama ugljikovog dioksida iz tla. Razine vlažnosti tla utječu na ravnotežu između skladištenja i oslobađanja ugljika u tlu, igrajući ključnu ulogu u dinamici ugljika u cijelom ekosustavu. Odgovarajuća vlažnost tla ključna je za mikrobnu aktivnost, koja utječe na brzinu razgradnje organske tvari te kasnije i ispuštanje CO₂ u atmosferu. Drugim riječima, svojim djelovanjem na mikroorganizme i aktivnost korijena, vlažnost tla utječe na emisiju i apsorpciju plinova (Smith i sur., 2003). U ovom istraživanju, regresijska analiza kojom se analizirala ovisnost emisije C-CO₂ iz tla i količine vode u tlu na dubini od 10 cm, za 2016. godinu pokazala je slabu ovisnost za linearnu vrstu veze, srednju ovisnost za eksponencijalnu i logaritamsku vrstu veze te jaku ovisnost za kvadratnu vrstu veze. Kako je prethodno navedeno, kvadratna regresija je pokazala najbolju vezu, gdje 25 % izmjerenih vrijednosti parametara emisije C-CO₂ iz tla ovisi o količini vode u tlu. Može se reći kako je širok raspon temperatura zraka u 2016. godini utjecao na brzinu isparavanja i zadržavanje vode u tlu. Također, obilne oborine zimi te u rano proljeće potencijalno su utjecale na više razine vlage u tlu. U istraživanoj 2017. godini, utvrđena je slaba ovisnost za kvadratnu i logaritamsku vrstu veze, dok za linearnu i eksponencijalnu vrstu veze ovisnosti nema. Prema vrijednostima koeficijenta determinacije, kvadratna regresija pokazuje najbolju vezu, gdje 8 % izmjerenih vrijednosti parametara emisije C-CO₂ iz tla ovisi o količini vode u tlu. Relativno sušno razdoblje u 2017. godini, od svibnja do kolovoza, prati smanjena vlažnost tla, što ograničava aktivnost mikroorganizama, utječući na emisije CO₂. U 2018. godini, slaba ovisnost utvrđena je za eksponencijalnu vrstu veze, srednja ovisnost za linearnu vrstu veze, te jaka za kvadratnu i logaritamsku vrstu veze. U navedenoj godini, kvadratna regresija pokazuje najbolju vezu, gdje 39 % izmjerenih vrijednosti parametara emisije C-CO₂ iz tla ovisi o količini vode u tlu. Krajem ljeta, pa sve do kraja godine, pad količine vode u tlu može se pripisati sušnom razdoblju upravo u tom periodu 2018. godine kada je količina oborina bila niža, a temperatura tla viša.

U skladu s provedenim istraživanjem, različite jačine ovisnosti između emisije C-CO₂ iz tla i količine vode u tlu proučavane su i zabilježene i od strane mnogih drugih autora. Jaku pozitivnu korelaciju ($r = 0,90$) između količine vode u tlu i emisije CO₂ zabilježili su autori Rey i sur (2011) te autori Hernandez-Ramirez i sur. (2009) koji su zabilježili koeficijent korelacije u iznosu od $r = 0,53$. Jaku korelaciju također su zabilježili i autori Fang i Moncrieff (2001) te Buragiene i sur. (2019). Yerli i sur. (2023) zabilježili su jaku pozitivnu korelaciju između emisije CO₂ te količine vode u tlu na 5 cm ($r = 0,68$), 10 cm ($r = 0,73$) i 20 cm ($r = 0,88$) dubine. Slaba pozitivna korelacija zabilježena je od strane autora Kirui i sur. (2009) ($r = 0,26$) te Galić i sur. (2023) ($r = 0,29$). Dilekoglu i Sakin (2017) zabilježili su negativnu korelaciju između između

emisije CO₂ te količine vode u tlu na pet različitih polja s različitim uvjetima uzgoja: obrađeno ($r = -0,22$), neobrađeno ($r = -0,49$), polje šipka ($r = -0,44$), vinograd ($r = -0,47$) i voćnjak jabuka ($r = -0,36$). Također, negativnu korelaciju bilježe i Ussiri i Lal (2009) ($r = -0,75$), te Wood i sur. (2013). U istraživanjima u Americi, Mathiba i sur. (2014) zabilježili su negativnu korelaciju na sve tri istraživane lokacije, dok su Raich i sur. (2023) negativnu korelaciju zabilježili na sve četiri istraživane lokacije.

5.2.5. Utjecaj ukupnog ugljika u tlu na emisiju ugljikovog dioksida iz tla

Ukupni sadržaj ugljika u tlu igra značajnu i višestruku ulogu u emisiji ugljikovog dioksida iz tla, te predstavlja ključnu komponentu ciklusa ugljika u tlu. Iako veći sadržaj ugljika u tlu može pridonijeti emisijama CO₂ kroz razgradnju organske tvari, ono također može poslužiti kao ponor ugljika, smanjujući emisije CO₂ kroz sekvestraciju ugljika (Dias Rodrigues i sur., 2023). Utjecaj ukupnog ugljika u tlu na emisiju ugljikovog dioksida iz tla ovisi o brojnim čimbenicima, uključujući prakse gospodarenja tlom, uvjete okoliša i ravnotežu između unosa ugljika i gubitaka u tlu.

U 2016. godini, u toplijem dijelu godine, utvrđena je statistički značajna i jaka ovisnost emisije C-CO₂ o sadržaju ukupnog ugljika u tlu za svibanj ($r = 0,6464$), lipanj ($r = 0,5986$) i srpanj ($r = 0,6070$), dok u hladnijem dijelu godine, emisija C-CO₂ nije bila u značajnoj i jakoj ovisnosti o sadržaju ukupnog ugljika u tlu. U 2018. godini, vrijednost korelacijskog koeficijenta u travnju ukazuje na značajno jaku i negativnu ovisnost emisije C-CO₂ o sadržaju ukupnog ugljika u tlu, a jednaki trend zabilježen je i u ožujku premda ovisnost spomenuta dva parametra nije bila ni značajna niti jaka. U spomenutoj godini, značajna pozitivna ovisnost promatranih parametara ($r = 0,7550$) utvrđena je u kolovozu. Jednako kao i u vegetaciji ozime pšenice, u hladnijem dijelu godine nije zabilježena značajna i jaka ovisnost emisije C-CO₂ i ukupnog ugljika u tlu. U istraživanju Bilandžija i sur. (2014), emisija C-CO₂ u tlu bila je u pozitivnoj korelaciji s ukupnim sadržajem ugljika u tlu ($r = 0,91$). Slične rezultate dobili su i autori Setia i sur. (2011). La Scala i sur. (2000) proveli su tri mjerenja tijekom studenog, te utvrdili srednju ($r = 0,47$), slabu ($r = 0,35$) i slabu ($r = 0,30$) korelaciju između emisije CO₂ i sadržaja ukupnog ugljika u tlu. U radu Al-Kaisi i Yin (2005) odnos između emisije CO₂ i sadržaja ukupnog ugljika nije uočen ili je bio vrlo slab. Sosulski i sur. (2023) zaključili su da pjeskovita tla imaju nizak potencijal skladištenja ugljika te da je nakupljanje ugljika u tlu popraćeno povećanim emisijama C-CO₂ u atmosferu. Premda se rezultati ovog istraživanja odnose na ukupni ugljik u tlu, ali s obzirom na kiselu reakciju istraživanog tla koja se u 2016. godini kretala od 4,93 do 5,62 a u 2018. godini od 4,67 do 4,89, može se reći da je utvrđeni sadržaj ugljika u potpunosti

organskog porijekla, odnosno da se utvrđeni sadržaj odnosi na organski ugljik. Shodno tome, ovi rezultati se mogu promatrati i u svjetlu interakcije organskog ugljika u tlu i emisije ugljikovog dioksida iz tla. Pozitivnu korelaciju između sadržaja organskog ugljika u tlu i emisije CO₂ zabilježili su autori Chevallier i sur. (2000) ($r = 0,64$), Wattanaprapat i sur. (2019) ($r = 0,85$) te Lou i sur. (2003) ($r = 0,59$). Navedena pozitivna korelacija pokazuje da je povećanje sadržaja organskog ugljika u tlu usko povezano s povećanjem emisije CO₂.

Za kraj, potrebno je naglasiti kako su zalihe ugljika u tlu vrlo osjetljive na ljudske aktivnosti, i upravo one mogu značajno smanjiti zalihe ugljika. Iz tog je razloga potrebno usvojiti najbolje načine gospodarenja tlom na nekom određenom području, gdje se može održavati pozitivna bilanca ugljika i skladištiti atmosferski CO₂ preko humifikacije biomase u relativno stabilne spojeve sa dužim vremenom razgradnje (Bogunović i sur., 2018).

5.3. BILANCA UGLJIKA

Razumijevanje ravnoteže ugljika u tlu ključno je za procjenu održivosti poljoprivrednih praksi i njihovog utjecaja na okoliš. Tlo predstavlja značajan spremnik ugljika, igrajući ključnu ulogu u globalnom ciklusu ugljika. Bilanca ugljika u tlu predstavlja sveobuhvatnu procjenu koja uključuje kvantificiranje ulaza, izlaza i promjena u skladištenju ugljika tijekom vremena. U ovom istraživanju, koje obuhvaća razdoblje od 2016. do 2018. godine, prikazana je dinamika ugljika u tlu pod različitim gnojidbenim tretmanima, naglašavajući sadržaj ugljika u tlu i njegove povezane gubitke kroz emisije u atmosferu i prinos usjeva.

U ovom istraživanju, primijenjena mineralna gnojidba pokazala je najveći kumulativni godišnji gubitak emisijom u atmosferu (19,6 t C ha⁻¹). Ovdje je važno naglasiti da iako mineralna gnojidba može povećati sadržaj ugljika u tlu, ona također značajno pridonosi gubitcima ugljika (Poeplau i sur., 2018; Roohi i sur., 2022). Halvorson i sur. (2002) i Triberti i sur. (2008) zaključili su da su visoke količine mineralnih gnojiva neučinkovite u svrhu povećanja sadržaja ugljika u tlu, te da njihova primjena podrazumijeva emisiju CO₂, koja je veća od moguće sekvencije CO₂. Upravo iz tog razloga stavlja se naglasak na važnost pažljivog upravljanja gnojidbenim praksama koji uključuju mineralnu gnojidbu u vidu smanjenja emisija ugljikovog dioksida.

Od svih istraživanih tretmana, tretman s primijenjenom organskom gnojidbom pokazao je najveću srednju vrijednost sadržaja ugljika u tlu (64,7 t C ha⁻¹). Iako je ovaj tretman zabilježio gubitke kroz emisiju i prinos usjeva, ukupno smanjenje ukupnog sadržaja ugljika u tlu bilo je

relativno niže, u iznosu od 47,4 %. Dobiveni rezultati sugeriraju da organska gnojdba ima potencijal povećati skladištenje ugljika u tlu, iako je potrebno pažljivo gospodariti kako bi se ublažili povezani gubici (Brar i sur., 2013).

Rezultati dobiveni na kontrolnom tretmanu pokazuju znatne gubitke emisijom (14,3 t C ha⁻¹). Iz dobivenih rezultata može se zaključiti da konvencionalne prakse bez specifičnih "intervencija" za očuvanje ugljika mogu dovesti do značajnih gubitaka ugljika. Nekoliko studija pokazalo je negativan učinak konvencionalnih sustava na zalihe ugljika u tlu (Bayer i sur., 2006; Maia i sur., 2013; Wei i sur., 2014; Oliveira i sur., 2015). U većini navedenih istraživanja, rezultati su pokazali značajno smanjenje C u tlu kada su usvojene konvencionalne prakse. Za razliku od tretmana na kojima je primijenjena organska i/ili mineralna gnojdba, na kontrolnom tretmanu nisu provedeni agrotehnički zahvati koje bi uvjetovali aktivno očuvanje ili upravljanje ugljikom u tlu.

Na tretmanu s crnim ugarom, koji uključuje obradu tla bez sjetve, zabilježen je najmanji kumulativni godišnji gubitak (9,4 t C ha⁻¹) zbog izostanka odljeva ugljika vezanog uz prinos. Međutim, važno je naglasiti kako je na ovom tretmanu i dalje zabilježeno smanjenje ukupnog sadržaja ugljika u tlu od 18,6 % isključivo putem emisija i bez uzgoja. Drugim riječima, najvažnije sekvestracije putem fotosinteze ovdje nije bilo.

Promatrajući sva četiri tretmana zajedno, uočljivo je da je na kontrolnom tretmanu zabilježen najveći postotak smanjenja ukupnog sadržaja ugljika u tlu. Ovakav rezultat ukazuje na potrebu za intervencijama ili alternativnim praksama za povećanje očuvanja ugljika u konvencionalnim poljoprivrednim sustavima. Tretmani s primijenjenom organskom i mineralnom gnojdbom, unatoč svojim doprinosima gubicima ugljika, održali su relativno srednju vrijednost sadržaja ugljika u tlu u usporedbi s kontrolnim tretmanom. Slijedom navedenog može se zaključiti da spomenute metode gnojidbe imaju potencijala za poboljšanje sekvestracije ugljika u tlu, pod uvjetom da su prakse upravljanja optimizirane. Sumarno, navedeni rezultati naglašavaju složenost dinamike ugljika u tlu te važnost usvajanja integriranih i održivih poljoprivrednih praksi, kao što su na primjer zelena gnojdba, plodored, konzervacijska obrada tla, primjena tehnologija precizne poljoprivrede, koje ne samo da povećavaju sadržaj ugljika u tlu, već i smanjuju gubitke kroz emisije i prinos usjeva.

6. ZAKLJUČAK

Na temelju rezultata istraživanja ovisnosti emisije tla C-CO₂ o tipu gnojidbe u tri vegetacijske godine za tri vrste usjeva, te provedbom bilanciranja odnosno utvrđivanja priliva i odliva ugljika iz tla i utvrđivanja ovisnosti sadržaja ugljika u tlu o emisiji C-CO₂ iz tla, mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- Postavljena hipoteza istraživanja da će emisija C-CO₂ iz poljoprivrednog tla ovisiti o tipu gnojidbe je potvrđena. Prema dobivenim rezultatima, prosječne godišnje emisije C-CO₂ bile su najniže na crnom ugaru, a najviše na tretmanima sa primijenjenom mineralnom ili organskom gnojibom, ovisno o istraživanoj godini. Promatrajući vremensku dinamiku emisija C-CO₂ tijekom godine za svaku kulturu, utvrđene su statističke značajne razlike između istraživanih tretmana.
- Postavljena hipoteza istraživanja da će emisija C-CO₂ iz poljoprivrednog tla ovisiti o vrsti usjeva je potvrđena. Prosječna godišnja vrijednost emisije C-CO₂ iz tla, ovisno o promatranom usjevu opadala je u slijedećem redosljedu: ozima pšenica > soja > kukuruz. Promatrajući isključivo doprinos usjeva, imajući na umu različite klimatske uvijete tijekom istraživanih godina, gustoća sklopa promatranih usjeva kao i sama građa korijena, pridonjeli su razlikama u emitiranoj količini C-CO₂ iz tla.
- Postavljena hipoteza istraživanja da će emisija C-CO₂ iz poljoprivrednog tla ovisiti o sadržaju ugljika u tlu je potvrđena. U toplijem dijelu godine, u fazama aktivnog rasta usjeva, zabilježene su jake ovisnosti emisije C-CO₂ o sadržaju ukupnog ugljika u tlu, dok u hladnijim mjesecima značajnih i jakih ovisnosti nije bilo. Veći sadržaj ugljika u tlu povezan s povećanim emisijama C-CO₂ iz tla tijekom promatranog razdoblja, ukazuje na važnost razmatranja dinamike ugljika u tlu u pogledu emisija stakleničkih plinova iz poljoprivrednih sustava.

7. LITERATURA

1. Abbasi, M. K., Khizar, A. (2012). Microbial biomass carbon and nitrogen transformations in a loam soil amended with organic-inorganic N sources and their effect on growth and N-uptake in maize. *Ecol. Eng* 39: 123–132. doi: [10.1016/j.ecoleng.2011.12.027](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.12.027)
2. Abera, G., Wolde-Meskel, E., Bakken, L. R. (2014). Unexpected high decomposition of legume residues in dry season soils from tropical coffee plantations and crop lands. *Agronomy for sustainable development* 34: 667 – 676. doi: [10.1007/s13593-013-0172-7](https://doi.org/10.1007/s13593-013-0172-7)
3. Acea, M. J., Carballas, T. (1988). The influence of cattle slurry on soil microbial population and nitrogen cycle microorganisms. *Biological Wastes* 23: 229-241. doi: [10.1016/0269-7483\(88\)90037-7](https://doi.org/10.1016/0269-7483(88)90037-7)
4. Al Ahmed, N. (2017). Dinamika ugljika i sumpora u hidromelioriranom tlu i drenažnoj vodi na području srednje Posavine. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb
5. Alberti, G., Vedove, G. D., Zuliani, M. (2010). Changes in CO₂ emissions after crop conversion from continuous maize to alfalfa. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 136: 139 – 147. doi: [10.1016/j.agee.2009.12.012](https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.12.012)
6. Alexander, M. (1961). Introduction to soil microbiology. John Wiley and Sons, Inc., New York. 472.
7. Al-Kaisi, M., Yin, X. (2005). Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn-soybean rotations. *J Environ Qual* 34:437-45. doi: [10.2134/jeq2005.0437](https://doi.org/10.2134/jeq2005.0437)
8. Amos, B., Arkebauer, T. J., Doran, J. W. (2005). Soil Surface Fluxes of Greenhouse Gases in an Irrigated Maize-Based Agroecosystem. *Soil. Sci. Soc. Am. J* 69: 387–395. doi: [10.2136/sssaj2005.0387](https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0387)
9. Atkin, O. K., Bloomfield, K. J., Reich, P. B., Tjoelker, M. G., Asner, G. P., Bonal, D., Bönisch, G., Bradford, M. G., Cernusak, L. A., Cosio, E. G., Creek, D., Crous, K. Y., Domingues, T. F., Dukes, J. S., Egerton, J. J. G., Evans, J. R., Farquhar, G. D., Fyllas, N. M., Gauthier, P. P. G., Zaragoza-Castells, J. (2015). Global variability in leaf respiration in relation to climate, plant functional types and leaf traits. *New Phytologist* 206: 614 – 636. doi: [10.1111/nph.13253](https://doi.org/10.1111/nph.13253)
10. Aulakh, M.S., Doran, J.W., Walters, D.T., Mosier, A.R., Francis, D.D. (1991). Crop residue type and placement effects on denitrification and mineralization. *Soil Sci. Soc. Am. J* 58: 1020 – 1025. doi: [10.2136/sssaj1991.03615995005500040022x](https://doi.org/10.2136/sssaj1991.03615995005500040022x)
11. Bååth, E., Wallander, H. (2003). Soil and rhizosphere microorganisms have the same Q₁₀ for respiration in a model system. *Global Change Biol* 9: 1788 – 1791. doi: [10.1046/j.1365-2486.2003.00692.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00692.x)
12. Bajracharya, R. M., Lal, R., Kimble, J. M. (2000). Diurnal and seasonal CO₂-C flux from soil as related to erosion phases in central Ohio. *Soil Science Society of America Journal* 64: 286 – 293. doi: [10.2136/sssaj2000.641286x](https://doi.org/10.2136/sssaj2000.641286x)
13. Ball, B. C. (2013). Soil structure and greenhouse gas emissions: a synthesis of 20 years of experimentation. *Eur. J. Soil. Sci* 64: 357–373. doi: [10.1111/ejss.12013](https://doi.org/10.1111/ejss.12013)

14. Bardgett, R. D. (2005). *The Biology of Soil: A community and Ecosystem Approach*. Oxford: Oxford University Press.
15. Bardgett, R. D., Freeman, C., Ostle, N. J. (2008). Microbial contributions to climate change through carbon cycle feedbacks. *The ISME Journal* 2: 805 – 814. doi: <https://doi.org/10.1038/ismej.2008.58>
16. Bar-Yosef, B., Kafkafi, U. (2016). The long-term permanent plots experiments in Israel. I. The Bet Dagan Experiment 1960-1993. II. The Gilat Experiment 1961-1994. International Potash Institute; International Fertilizer Association; Agricultural Research Organisation; Agri-Ecology, Zug, Switzerland.
17. Bastida, F., Moreno, J. L., Hernandez, T., Garcia, C. (2006). Microbiological degradation index of soils in a semiarid climate. *Soil Biol Biochem* 38: 3463 – 3473. doi: [10.1016/j.soilbio.2006.06.001](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.06.001)
18. Bašić, F. (1995). Some aspects of sustainable agriculture in Croatia. *Poljoprivredna znanstvena smotra* 60: 237 – 247.
19. Bauchmann, N. (2000). Biotic and abiotic factors controlling soil respiration rates in *Picea abies* stands, *Soil Biol. Biochem* 32: 1625 – 1635. doi: [10.1016/S0038-0717\(00\)00077-8](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00077-8)
20. Bayer, C., Martin-Neto, L., Mielniczuk, J., Pavinato, A., Dieckow, J. (2006). Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. *Soil and Tillage research* 86: 237-245. doi: [10.1016/j.still.2008.10.022](https://doi.org/10.1016/j.still.2008.10.022)
21. Becard, G., Piché, Y. (1989). Fungal growth stimulation by CO₂ and root exudates in vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Applied and environmental microbiology* 55: 2320-2325. doi: [10.1128/aem.55.9.2320-2325.1989](https://doi.org/10.1128/aem.55.9.2320-2325.1989)
22. Belay, A., Claassens, A. S., Wehner, F. C. (2002). Effect of direct nitrogen and potassium and residual phosphorus fertilizers on soil chemical properties, microbial components and maize yield under long-term crop rotation. *Biol. Fertil. Soils* 35: 420 – 427. doi: [10.1007/s00374-002-0489-x](https://doi.org/10.1007/s00374-002-0489-x)
23. Berlemont, R., Allison, S. D., Weihe, C., Lu, Y., Brodie, E. L., Martiny, J. B., Martiny, A. C. (2014). Cellulolytic potential under environmental changes in microbial communities from grassland litter. *Frontiers in microbiology* 5, 639. doi: [10.3389/fmicb.2014.00639](https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00639)
24. Bhupinderpal-Singh, N.A., Ottosson, L.M., Höglberg, M.N. (2003). Tree root and soil heterotrophic respiration as revealed by girdling of boreal Scots pine forest: extending observations beyond the first year. *Plant, Cell and Environment* 26, 1287 – 1296. doi: [10.1046/j.1365-3040.2003.01053.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.01053.x)
25. Bi, Y.L., Xiao, L., Liu, R.R. (2019). Response of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus solubilizing bacteria to remediation abandoned solid waste of coal mine. *Int. J. Coal. Sci. Technol* 6: 603 – 610. doi: [10.1007/s40789-019-00270-7](https://doi.org/10.1007/s40789-019-00270-7)
26. Bilandžija, D. (2015). *Emisija ugljikovog dioksida pri različitim načinima obrade tla*. Doktorski rad, Zagreb.
27. Bilandžija, D., Zgorelec Ž., Kisić, I. (2017). Influence of tillage systems on short-term soil CO₂ emissions. *Hung. Geograph. Bull* 66 (1): 29 – 35. doi: [10.15201/hungeobull.66.1.3](https://doi.org/10.15201/hungeobull.66.1.3)
28. Bilandžija, D., Zgorelec, Ž., Kisić, I. (2014). Soil Carbon Loss by Soil Respiration under Different Tillage Treatments. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 79: 1 – 6.

29. Bilandžija, D., Zgorelec, Ž., Kisić, I. (2016). Influence of tillage practice and crop type on soil CO₂ emissions. *Sustainability* 8: 90. doi: [10.3390/su8010090](https://doi.org/10.3390/su8010090)
30. Blažinkov, M., Sikora, S., Sudarić, A., Mesić, M., Rajnović, I., Redžepović, S. (2015). Improvement of Rhizobial Inoculants: A Key Process in Sustainable Soybean Production. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 80: 25-29.
31. Blažinkov, M., Šnajder, A., Barić, K., Sikora, S., Rajnović, I., Redžepović, S. (2014). Utjecaj herbicida na rast sojeva kvržičnih bakterija koje noduliraju grašak (*Pisum sativum* L.). *Agronomski glasnik* 4-5.
32. Bogunović, I., Kisić, I., Mesić, M., Zgorelec, Ž., Šestak, I., Perčin, A., Bilandžija, D. (2018). Održive mjere gospodarenja tlom u ekološkoj poljoprivredi za klimatske uvjete mediteranske Hrvatske. Priručnik, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zagreb.
33. Bond-Lamberty, B., Thomson, A. (2010). Temperature-associated increases in the global soil respiration record. *Nature* 464 (7288): 579 – 582. doi: [10.1038/nature08930](https://doi.org/10.1038/nature08930)
34. Bond–Lamberty, B., Thomson, A. (2010a). A global database of soil respiration data. *Biogeosci* 7: 1915 – 1926. doi: [10.5194/bgcd-7-1321-2010](https://doi.org/10.5194/bgcd-7-1321-2010)
35. Boroken, W., Xu, Y., Brumme, R., Lamersdorf, N. (1999). A Climate Change Scenario for Carbon Dioxide and Dissolved Organic Carbon Fluxes from a Temperate Forest Soil Drought and Rewetting Effects. *Division S-7-Forest & Range Soil*. 63: 1848 – 1855. doi: [10.2136/sssaj1999.6361848x](https://doi.org/10.2136/sssaj1999.6361848x)
36. Bouwman A. F., Boumans L. J. M., Batjes N. H. (2002). Emissions of N₂O and NO from fertilized fields: summary of available measurement data. *Glob Biogeochem* 16: 1058. doi: [10.1029/2001GB001811](https://doi.org/10.1029/2001GB001811)
37. Brady N., Weil R. (2010). *Elements of the nature and properties of soils*, 3rd edition. Libraries Australia, Upper Saddle River, N.J.: Pearson Prentice Hall, 614.
38. Branković, Č., Bray J., Callaway J., Dulčić J., Gajić-Čapka M., Glamuzina B., Heim I., Japec L., Kalinski V., Landau S., Legro S., Oikon Ortl F., Patarčić M., Srnec L., Šimleša, D., Zaninović K., Znaor D. (2009). Dobra klima za promjene, Klimatske promjene i njihove posljedice na društvo i gospodarstvo u Hrvatskoj, Izvješće o društvenom razvoju - Hrvatska 2008. Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, Zagreb, Hrvatska
39. Branković, Č., Güttler, I., Gajić-Čapka, M. (2013). Evaluating climate change at the Croatian Adriatic from observations and regional climate models' simulations. *Climate dynamics* 41: 2353 – 2373. doi: [10.1007/s00382-012-1646-z](https://doi.org/10.1007/s00382-012-1646-z)
40. Brar, B. S., Singh, K., Dheri, G. S., Balwinder-Kumar, D. (2013). Carbon sequestration and soil carbon pools in a rice–wheat cropping system: Effect of long-term use of inorganic fertilizers and organic manure. *Soil & Tillage research* 128: 30-36. doi: [10.1016/j.still.2012.10.001](https://doi.org/10.1016/j.still.2012.10.001)
41. Broeckling, C. D., Manter, D. K., Paschke, M., Vivanco, J. M. (2008). Rhizosphere Ecology. *Encyclopedia of Ecology* 3030 – 3035. doi: [10.1016/B978-008045405-4.00540-1](https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00540-1)
42. Brussaard, L. (1994). Interrelationships between biological activities, soil properties and soil. *Soil resilience and sustainable land use* 309 – 329.
43. Buragienė, S., Šarauskis, E., Romaneckas, K., Adamavičienė, A., Kriaučiūnienė, Z., Avižienytė, D., Marozas, V., Naujokienė, V. (2019). Relationship between CO₂ emissions

and soil properties of differently tilled soils. *Sci. Total Environ* 662: 786 – 795. doi: [10.1016/j.scitotenv.2019.01.236](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.236)

44. Buragiene, S., Šarauskius, E., Romanekas, K., Adamavičiene, A., Kriaučiuiene, Z., Avižienyte, D., Marozas, V., Naujokiene, V. (2019). Relationship between CO₂ emissions and soil properties of differently tilled soils. *Science of The Total Environment* 662: 786-795. doi: [10.1016/j.scitotenv.2019.01.236](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.236)

45. Burger, M., Jackson, L. E. (2002). Microbial immobilization of ammonium and nitrate in relation to ammonification and nitrification rates in organic and conventional cropping systems. *Soil biology & biochemistry* 35: 29 – 36. doi: [10.1016/S0038-0717\(02\)00233-X](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00233-X)

46. Buringh, P. (1984). Organic carbon in soils of the world. U: The role of terrestrial vegetation in the global carbon cycle: measurement by remote sensing, Scope

47. Cai Y., Ding W., Luo J. (2012). Spatial variation of nitrous oxide emission between interrow soil and interrow plus row soil in a long-term maize cultivated sandy loam soil. *Geoderma* 2 – 10: 181 – 182. doi: [10.1016/j.geoderma.2012.03.005](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.03.005)

48. Caprez, R., Niklaus, P. A., Korner, C. (2012). Forest soil respiration reflects plant productivity across a temperature gradient in the Alps. *Oecologia* 170: 1143 – 1154. doi: [10.1007/s00442-012-2371-3](https://doi.org/10.1007/s00442-012-2371-3)

49. Carlisle, E. A., Steenwerth, K., Russel Smart, D. (2006). Effects of Land Use on Soil Respiration: Conversion of Oak Woodlands to Vineyards. *J. Environ. Qual* 35: 1396 – 1340. doi: [10.2134/jeq2005.0155](https://doi.org/10.2134/jeq2005.0155)

50. Carlson, C. A., Bates, N. R., Hansell, D. A., Steinberg, D. K. (2001.) Carbon cycle. In: J. Steele, S. Thorpe, K. Turekian (Eds.) *Encyclopedia of Ocean Science*, 2nd Edition. Academic Press, 477- 486.

51. Casals, P., Romanya, J., Cortina, J., Bottner, P., Couteaux, M. M., Vallejo, V. R. (2000). Biogeochemistry, CO₂ efflux from a Mediterranean semi-arid forest soil. I. Seasonality and effects of stoniness. *48*. 261 – 281. doi: [10.1023/A:1006289905991](https://doi.org/10.1023/A:1006289905991)

52. Cassia, R., Nocioni, M., Correa-Aragunde, N., Lamattina, L. (2018). Climate Change and the Impact of Greenhouse Gasses: CO₂ and NO, Friends and Foes of Plant Oxidative Stress. *Sec. Plant Abiotic Stress* 9. doi: [10.3389/fpls.2018.00273](https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00273)

53. Cayuela M. L., Velthof G. L., Mondini C., Sinicco T., van Groenigen J. W. (2010). Nitrous oxide and carbon dioxide emissions during initial decomposition of animal by-products applied as fertilisers to soils, *Geoderma* 157 (3-4): 235 – 242. doi: [10.1016/j.geoderma.2010.04.026](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.04.026)

54. CCSP, (2007). U.S. Climate Change Science Program. The first state of the carbon cycle report (SOCCR)—The North American carbon budget and implications for the global carbon cycle (King, A.W., Dilling, Lisa, Zimmerman, G.P., Fairman, D.M., Houghton, R.A., Marland, Gregg, Rose, A.Z., and Wilbanks, T.J., eds.): National Oceanic and Atmospheric Administration, National Climatic Data Center, 242.

55. Chamkhi, I., El Omari, N., Balahbib, A., El Menyiy, N., Benali, T., Ghoulam, C. (2022). Is the rhizosphere a source of applicable multi-beneficial microorganisms for plant enhancement? *Saudi Journal of Biological Sciences*. 29: 1246 – 1259. doi: [10.1016/j.sjbs.2021.09.032](https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.09.032)

56. Chanda, A.; Akhand, A.; Manna, S.; Dutta, S.; Das, I.; Hazra, S.; Rao, K.H.; Dadhwal, V.K. (2014). Measuring daytime CO₂ fluxes from the inter-tidal mangrove soils of Indian Sundarbans. *Environ. Earth Sci* 72:2, 417–427. doi: [10.1007/s12665-013-2962-2](https://doi.org/10.1007/s12665-013-2962-2)
57. Chang, Z. Q., Feng, Q., Si, J. H., Su, Y. H., Xi, H. Y., Li, J. L. (2009). Analysis of the spatial and temporal changes in soil CO₂ flux in alpine meadow of Qilian Mountain. *Environ Geol.* 58: 483 – 490. doi: [10.1007/s00254-008-1521-8](https://doi.org/10.1007/s00254-008-1521-8)
58. Chapin, F.S., Woodwell, G.M., Randerson, J.T., Rastetter, E.B., Lovett, G.M., Baldocchi, D.D., Clark, D.A., Harmon, M.E., Schimel, D.S., Valentini, R., Wirth, C., Aber, J.D., Cole, J.J., Goulden, M.L., Harden, J.W., Heimann, M., Howarth, R.W., Matson, P.A., McGuire, A.D., Melillo, J.M., Mooney, H.A., Neff, J.C., Houghton, R.A., Pace, M.L., Ryan, M.G., Running, S.W., Sala, O.E., Schlesinger, W.H., and Schulze, E.D. (2006). Reconciling carbon-cycle concepts, terminology, and methods: *Ecosystems* 9: 1041 – 1050. doi: [10.1007/s10021-005-0105-7](https://doi.org/10.1007/s10021-005-0105-7)
59. Chemistry world (2023). Dostupno na: <https://www.chemistryworld.com/features/getting-to-the-root-of-soil-nitrogen/4013343.article> [Pristupljeno: 09.11.2023]
60. Chen, D., Li, Y., Wang, C., Fu, X., Liu, X., Shen, J., Wang, Y., Xiao, R., Liu, D. L., Wu, J. (2017). Measurement and modeling of nitrous and nitric oxide emissions from a tea field in subtropical central China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems.* 1107: 157 – 173. doi: [10.1007/s10705-017-9826-1](https://doi.org/10.1007/s10705-017-9826-1)
61. Chen, D., Li, Y., Wang, C., Fu, X., Liu, X., Shen, J., Wang, Y., Xiao, R., Liu, D.L., Wu, J. (2017). Measurement and modeling of nitrous and nitric oxide emissions from a tea field in subtropical central China. *Nutrient Cycling in Agroecosystem* 1107: 157–173. doi: [10.1007/s10705-017-9826-1](https://doi.org/10.1007/s10705-017-9826-1)
62. Chen, Q., Guo, B., Zhao, C., Xing, B. (2018). Characteristics of CH₄ and CO₂ emissions and influence of water and salinity in the Yellow River delta wetland, China. *Environmental Pollution* 239: 289 – 299. doi: [10.1016/j.envpol.2018.04.043](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.043)
63. Chevallier, T., Blanchart, E., Albrecht, A., Feller, C. (2000). CO₂ evolution from soil and physical protection of soil organic carbon in a young pasture on Vertisol.
64. Chiang, P.N., Yu, J.C., Wang, Y.N., Lai, Y.J. (2014). Different tree species affect soil respiration spatial distribution in a subtropical forest of southern Taiwan. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* 16: 2533.
65. Chu, H., Lin, X., Fujii, T., Morimoto, S., Yagi, K., Hu, J., Zhang, J. (2007). Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long-term fertilizer management. *Soil Biology and Biochemistry* 39: 2971-2976. doi: [10.1016/j.soilbio.2007.05.031](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.05.031)
66. Conant, R. T., Paustian, K., Elliott, E. T. (2001). Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. *Ecological Applications* 11: 343 – 355. doi: [10.1890/1051-0761\(2001\)011\[0343:GMACIG\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[0343:GMACIG]2.0.CO;2)
67. Curtin, D., Wang, H., Selles, F. (2000). Tillage effects on carbon fluxes in continuous wheat and fallow-wheat rotations. *Soil Science Society of America Journal* 64: 2080 – 2086. doi: [10.2136/sssaj2000.6462080x](https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6462080x)

68. Davidson, E. A., Janssens, I. A. (2006). Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature* 440: 165 – 173. doi: [10.1038/nature04514](https://doi.org/10.1038/nature04514)
69. Davidson, E. A., Verchot, L. V., Cattanio, J. H., Ackerman, I. L., Carvalho, J. E. M. (2000.) Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern Amazonia. *Biogeochemistry* 48: 53 – 69. doi: [10.1023/A:1006204113917](https://doi.org/10.1023/A:1006204113917)
70. Davidson, E.A., Savage, K., Bolstad, P., Clark, D.A., Curtis, P.S., Ellsworth, D.S., Hanson, P.J., Law, B.E., Luo, Y., Pregitzer, K.S., Randolph, J.C. (2002). Belowground carbon allocation in forests estimated from litterfall and IRGA-based soil respiration measurements. *Agric. For. Meteorol* 113: 39-51. doi: [10.1016/S0168-1923\(02\)00101-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(02)00101-6)
71. De Vries, F. T., Thebault, E., Liiri, M., Birkhofer, K., Tsiafouli, M. A., Bjornlund, L., Bracht Jorgensen, H., Brady, M. V., Christensen, S., de Ruiter, P. C., d'Hertefeldt, T., Frouz, J., Hedlund, K., Hemerik, L., Hol, W. H., Hotes, S., Mortimer, S. R., Setälä, H., Sgardelis, S. P., Uteseny, K., van der Putten, W. H., Wolters, V., Bardgett, R. D. (2013). Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 110: 14296 – 14301. doi: [10.1073/pnas.130519811](https://doi.org/10.1073/pnas.130519811)
72. Déhéraïn, P.P., de Moussey, E. (1896). Sur l'oxydation de la matiere organique de sol. *Ann. Agron* 22: 305 – 337.
73. Dessaux, Y., Hinsinger, P., Lemanceau, P. (2009). Rhizosphere: so many achievements and even more challenges. *Plant. Soil* 321: 1–3. doi: [10.1007/s11104-009-0063-5](https://doi.org/10.1007/s11104-009-0063-5)
74. Dhadli, H.S., Brar, B.S., Black, T.A. (2015). Influence of crop growth and weather variables on soil CO₂ emissions in a maize-wheat cropping system. *Journal of Agricultural Research* 52: 28 – 34. doi: [10.5958/2395-146X.2015.00032.0](https://doi.org/10.5958/2395-146X.2015.00032.0)
75. Dhadli, H.S.; Brar, B.S. (2016). Effect of long-term different application of inorganic fertilizers and manure on soil CO₂ emissions. *Plant Soil Environ* 62: 195–201. doi: [10.17221/266/2015-PSE](https://doi.org/10.17221/266/2015-PSE)
76. Dias Rodrigues, C. I., Brito, L. M., Nunes, L. J. (2023). Soil Carbon Sequestration in the Context of Climate Change Mitigation: A Review. *Soil Systems* 7: 64. doi: [10.3390/soilsystems7030064](https://doi.org/10.3390/soilsystems7030064)
77. Dias, A. T. C., van Ruijven, J., Berendse, F. (2010). Plant species richness regulates soil respiration through changes in productivity. *Oecologia* 163: 805 – 813. doi: [10.1007/s00442-010-1569-5](https://doi.org/10.1007/s00442-010-1569-5)
78. Dilekoglu, M. F., Sakin, E. (2017). Effect of temperature and humidity in soil carbon dioxide emission. *The Journal of Animal and Plant Sciences* 27: 1596 – 1603.
79. Ding, W., Meng, L., Yin, Y., Cai, Z., Zheng, X. (2007). CO₂ emission in an intensively cultivated loam as affected by long-term application of organic manure and nitrogen fertilizer. *Soil biology and biochemistry* 39: 669 – 679. doi: [10.1016/j.soilbio.2006.09.024](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.09.024)
80. Ding, W., Yu, H., Cai, Z., Han, F., Xu, Z. (2010). Responses of soil respiration to N fertilization in a loamy soil under maize cultivation, *Geoderma* 155: 381 – 389. doi: [10.1016/j.geoderma.2009.12.023](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.12.023)

81. Dong W.Y., Liu E., Wang J.B., Yan C.R., Li J., Zhang Y.Q. (2017). Impact of tillage management on the short- and long-term soil carbon dioxide emissions in the dryland of Loess Plateau in China. *Geoderma* 307: 38 – 45. doi: [10.1016/j.geoderma.2017.07.036](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.07.036)
82. Drury, C. F., Yang, X. M., Reynolds, W. D., McLaughlin, N. B. (2007). Nitrous oxide and carbon dioxide emissions from monoculture and rotational cropping of corn, soybean and winter wheat. *Canadian Journal of Soil Science* 163 – 174. doi: [10.4141/CJSS06015](https://doi.org/10.4141/CJSS06015)
83. EC (European Commission) (2022). Consequences of climate change. Available at: https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_en [Pristupljeno: 11. travnja 2023.].
84. Ellis, R. C. (1974). The seasonal pattern of nitrogen and carbon mineralization in forest and pasture soils in southern Ontario. *Can. J. Soil Sci* 54: 15 – 28. doi: [10.4141/cjss74-003](https://doi.org/10.4141/cjss74-003)
85. Emmerling, C., Udelhoven, T., Schneider, R. (2010). Long-lasting impact of biowaste-compost application in agriculture on soil-quality parameters in three different crop-rotation systems. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 173, 391 – 398. doi: [10.1002/jpln.200900348](https://doi.org/10.1002/jpln.200900348)
86. Eo, J., Park, K. C. (2013). Effects of manure composts on soil biota and root-rot disease incidence of ginseng (*Panax ginseng*). *Applied soil ecology* 71: 58-64. doi: [10.1016/j.apsoil.2013.05.005](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.05.005)
87. EPA (2022). United States Environmental Protection Agency. Basics of Climate Change. Available at: <https://www.epa.gov/climatechange-science/basics-climate-change> [pristupljeno: 03. prosinca 2023.].
88. Fang, C., Moncrieff, J.B. (2001). The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. *Soil Biol. Biochem* 33: 155–165. doi: [10.1016/S0038-0717\(00\)00125-5](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00125-5)
89. FAO (2006). World reference base (WRB) for soil resources. A framework for international classification, correlation and communication. FAO, Rome
90. FAO (2015). Food and Agriculture Organisation of the United Nations. 2015 Publications. Available at: <https://www.fao.org/3/i5056e/i5056e.pdf> [Pristupljeno: 12 siječnja 2023.]
91. Farooqi, Z. U. R., Mahroz Husain, M., Quadeer, A., Ashar Ayub, M. (2021). Chapter 2 - Role of carbon cycle in soil productivity and carbon fluxes under changing climate. *Frontiers in Plant - Soil Interaction* 29 – 48. doi: [10.1016/B978-0-323-90943-3.00017-1](https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90943-3.00017-1)
92. Feiziene, D., Feiza, V., Kadziene, G., Vaideliene, A.; Povilaitis, V.; Deveikyte, I. (2011). CO₂ fluxes and drivers as affected by soil type, tillage and fertilization. *Acta Agric. Scand. B Soil Plant Sci* 62: 311–328. doi: [10.1080/09064710.2011.614272](https://doi.org/10.1080/09064710.2011.614272)
93. Fereidooni, M., Raiesi, F., Fallah, S. (2013). Ecological restoration of soil respiration, microbial biomass and enzyme activities through broiler litter application in a calcareous soil cropped with silage maize. *Ecol. Eng* 58: 266 – 277. doi: [10.1016/j.ecoleng.2013.06.032](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.06.032)
94. Fierer, N., Strickland, M. S., Liptzin, D., Bradford, M. A., Cleveland, C. C. (2009). Global patterns in belowground communities. *Ecology Letters* 12: 1238 - 1249. doi: [10.1111/j.1461-0248.2009.01360.x](https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01360.x)
95. Filho, J. S. O., de Oliveira Lopes, R., de Oliveira Araújo, M., Magalhães, M. S., de Sousa Vasconcelos, M. D., Leite Lima, A. R., Holanda Bastos, F., Gervasio Pereira, M. (2022). How does increasing humidity in the environment affect soil carbon and nitrogen stocks and

the C/N ratio in tropical drylands? Evidence from northeastern Brazil. *Catena* 213, 106208. doi: [10.1016/j.catena.2022.106208](https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106208)

96. Filipčić, A. (1998) Klimatska regionalizacija Hrvatske po Köppenu za standardno razdoblje 1961.-1990. u odnosu na razdoblje 1931.-1960. *Acta Geographica Croatica*, 34: 1-15.

97. Filser, J., faber, J. H., Tiunov, A. V., Brussaard, L., Frouz, J., De Deyn, G., Uvarov, A. V., Berg, M. P., Lavelle, P., Loreau, M., Wall, D. H., Querner, P., Eijsackers, H., Jiménez, J. J. (2016). Soil fauna: key to new carbon models. *Soil* 2: 565 – 582. doi: [10.5194/soil-2-565-2016](https://doi.org/10.5194/soil-2-565-2016)

98. Finn, D., Page, K., Catton, K., Kienzle, M., Robertson, F., Armstrong, R., Dalal, R. (2016). Ecological stoichiometry controls the transformation and retention of plant-derived organic matter to humus in response to nitrogen fertilisation. *Soil biology and Biochemistry* 99: 117 – 127. doi: [10.1016/j.soilbio.2016.05.006](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.05.006)

99. Flessa H., Ludig B., Heil B., Merbach W. (2000). The origin of soil organic C, DoC, and soil respiration in the continuous maize cropping system of the long-term experiment “Eternal rye” in Halle. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 163: 157 – 163. doi: [10.1002/1522-2624\(200012\)163:6<639::AID-JPLN639>3.0.CO;2-L](https://doi.org/10.1002/1522-2624(200012)163:6<639::AID-JPLN639>3.0.CO;2-L)

100. Fließbach, A., Oberholzer, H. R., Gunst, L., Mäder, P. (2007). Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 118: 273 – 284. doi: [10.1016/j.agee.2006.05.022](https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.022)

101. Fu, Y., Feng, F., Fan, X., Hu, Y., Zhang, X. (2019). Seasonal dynamics of fine root respiration in the degraded and successional primary Korean pine forests in the Lesser Khingan mountains of Northern China. *Ecol Indic* 102: 1 – 9. doi: [10.1016/j.ecolind.2019.02.029](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.02.029)

102. Fujisaki, K., Chevallier, T., Chapuis-Lardy, L., Albrecht, A., razafimbelo, T., Masse, D., Ndour, Y. B., Chotte, J. L. (2018). Soil carbon stock changes in tropical croplands are mainly driven by carbon inputs: A synthesis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 259: 147 – 158. doi: [10.1016/j.agee.2017.12.008](https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.12.008)

103. Fu-sheng, C., De-hui, Z., Anand Narain, S., Guang-sheng, C. (2005). Effects of soil moisture and soil depth on nitrogen mineralization process under Mongolian pine plantations in Zhanggutai sandy land, PR China. *Journal of Forestry Research* 16: 101-104. doi: [10.1007/BF02857899](https://doi.org/10.1007/BF02857899)

104. Gajić – Čapka M., Zaninović K. (2008). *Klima Hrvatske. U: Zaninović K. Gajić – Čapka M., Perčec Tadić M. Klimatski atlas Hrvatske – Climate Atlas of Croatia 1961.-1990., 1971.-2000.* DHMZ. Zagreb.

105. Gajić-Čapka, M., Cindrić, K. (2011). Secular trends in indices of precipitation extremes in Croatia, *Geofizika* 28: 293 – 312.

106. Gajić-Čapka, M., Güttler, I., Branković, Č. (2014). Climate and climate change analysis for the island of Korcula, Croatia. In: *COMECAP 2014, 12th International Conference of Meteorology, Climatology and Physics of the Atmosphere*, Heraklion, 315 – 319.

107. Gajić-Čapka, M., Güttler, I., Cindrić, K., Branković, Č. (2018). Observed and simulated climate and climate change in the lower Neretva river basin. *J. Wat. Clim. Ch.*, 9: 124 – 136. doi: [10.2166/wcc.2017.034](https://doi.org/10.2166/wcc.2017.034)

108. Galić, M., Bilandžija, D., Mesić, M., Perčin, A., Zgorelec, Ž. (2020). Seasonal variability of soil respiration during maize vegetation. 55th Croatian & 15th International Symposium on Agriculture 38 – 43.
109. Galić, M., Bilandžija, D., Perčin, A., Šestak, I., Mesić, M., Blažinkov, M., Zgorelec, Ž. (2019a). Effects of Agricultural Practices on Carbon Emission and Soil Health. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*. 7: 539 – 552. doi: [10.13044/j.sdewes.d7.0271](https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d7.0271)
110. Galić, M., Bilandžija, D., Zgorelec, Ž. (2023). Influence of Long-Term Soil Management Practices on Carbon Emissions from Corn (*Zea mays* L.) Production in Northeast Croatia. *Agronomy* 13: 2051. doi: [10.3390/agronomy13082051](https://doi.org/10.3390/agronomy13082051)
111. Galić, M., Mesić, M., Zgorelec, Ž. (2019b). Influence of Organic and Mineral Fertilization on Soil Greenhouse Gas Emissions. A Review. *Agric. conspec. Sci* 85: 1.
112. Galić, M., Zgorelec, Ž., Bilandžija, D. (2019). Soil carbon dioxide emissions in winter wheat vegetation influenced by agro-ecological factors and fertilization. *Agriculture in nature and environment protection*. 12 International Scientific/Professional Conference, Osijek, Hrvatska.
113. Gan Y., Liang C., Wang X., McConkey B. (2011). Lowering carbon footprint of durum wheat by diversifying cropping systems. *Field. Crop. Res* 122: 199 – 206. doi: [10.1016/j.fcr.2011.03.020](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.03.020)
114. Gao, B., Huang, T., Ju, X., Gu, B., Huang, W., Xu, L., Rees, R. M., Powlson, D. S., Smith, P., Cui, S. (2018). Chinese cropping systems are a net source of greenhouse gases despite soil carbon sequestration. *Global Change Biology* 24: 5590-5606. doi: [10.1111/gcb.14425](https://doi.org/10.1111/gcb.14425)
115. Gao, M. X., Li, J. K., Zhang, X. P. (2012). Responses of soil fauna structure and leaf litter decomposition to effective microorganism treatments in Da Hinggan mountains, China. *Chin. Geogr. Sci* 22: 647 – 658. doi: [10.1007/s11769-012-0573-6](https://doi.org/10.1007/s11769-012-0573-6)
116. Gao, X., Zhao, N., Lu, Y., Han, X., Yang, Z. (2022). Effects of Supplementary Irrigation on Soil Respiration of Millet Farmland in a Semi-Arid Region in China. *Atmosphere* 13: 1584. doi: [10.3390/atmos13101584](https://doi.org/10.3390/atmos13101584)
117. Garcia, C., Roldan, A., Hernandez, T. (2005). Ability of different plant species to promote microbiological processes in semiarid soil. *Geoderma* 124, 193 – 202. doi: [10.1016/j.geoderma.2004.04.013](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.04.013)
118. Garz J., Schliephake W., Merbach W. (2000). Changes in the subsoil of long-term trials in Halle (Saale), Germany, caused by mineral fertilization. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 163: 663 – 668. doi: [10.1002/1522-2624\(200012\)163:6<663::AID-JPLN663>3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/1522-2624(200012)163:6<663::AID-JPLN663>3.0.CO;2-X)
119. Gillooly, J. F., Brown, J. H., West, G. B., Savage, V. M., Charnov, E. L. (2001). Effects of size and temperature on metabolic rate. *Science* 293: 2248 – 2251. doi: [10.1126/science.1061967](https://doi.org/10.1126/science.1061967)
120. Glavač, V. (1999). Uvod u globalnu ekologiju. Intergrafika, Zagreb, Hrvatska
121. Grahammer, K., Jawson, M. D., Skopp, J. (1991). Day and Night Soil Respiration from a Grassland, *Soil Biol. Biochem* 23: 77 – 81. doi: [10.1016/0038-0717\(91\)90165-G](https://doi.org/10.1016/0038-0717(91)90165-G)
122. Grbeša, D. (2016). Hranidbena svojstva kukuruza. Zabreb, Hrvatska

123. Gwon, H. S., Khan, M. I., Yoon, Y. E., Lee, Y. B., Kim, P. J., Hwang, H. Y. (2019). Unexpected higher decomposition of soil organic matter during cold fallow season in temperate rice paddy. *Soil and Tillage Research* 192: 250 – 257. doi: [10.1016/j.still.2018.11.009](https://doi.org/10.1016/j.still.2018.11.009)
124. Haichar, F. el Z., Santaella, C., Heulin, T., Achouak, W. (2014). Root exudates mediated interactions belowground. *Soil Biol. Biochem* 77: 69 – 80. doi: [10.1016/j.soilbio.2014.06.017](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.06.017)
125. Halvorson, A. D., B.J. Wienhold, A.L. Black. (2002). Tillage, nitrogen and cropping system effects on soil carbon sequestration. *Soil Sci. Soc. Am. J* 66: 906-912. doi: [10.2136/sssaj2002.0906](https://doi.org/10.2136/sssaj2002.0906)
126. Han, G. X., Yang, L. Q., Yu, J. B., Wang, G. M., Mao, P. L., Gao, Y. J. (2012). Environmental Controls on Net Ecosystem CO₂ Exchange Over a Reed (*Phragmites Australis*) Wetland in the Yellow River Delta, China, *Estuar. Coasts* 36: 1 – 3. doi: [10.1007/s12237-012-9572-1](https://doi.org/10.1007/s12237-012-9572-1)
127. Han, T., Huang, W., Liu, J., Zhou, G., Xiao, Y. (2015). Different soil respiration responses to litter manipulation in three subtropical successional forests. *Sci. Rep* 5: 18166. doi: [10.1038/srep18166](https://doi.org/10.1038/srep18166)
128. Hanson, P. J., Edwards, N. T., Garten, C. T., Andrews, J. A. (2000). Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations. *Biogeochem* 48: 115 – 146.
129. HAPiH (2020). Hrvatska agencija za poljoprivredu i hranu. Tehnološke upute za tumačenje rezultata analiza tla za praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta. Centar za tlo, Osijek.
130. Hashimoto, S., Komatsu, H. (2006). Relationships between soil CO₂ concentration and CO₂ production, temperature, water content, and gas diffusivity: implications for field studies through sensitivity analyses. *Journal of forest research* 11: 41 – 50. doi: [10.1007/s10310-005-0185-4](https://doi.org/10.1007/s10310-005-0185-4)
131. Haszpra, L., Barcza, Z. (2010). Atmospheric trends and fluctuations Regional climate change and fluctuations as reflected in the atmospheric carbon dioxide concentration. In: *Atmospheric Greenhouse Gases: The Hungarian Perspective* 49 – 62.
132. Hättenschwiler, S., Tiunov, A. V., Scheu, S., (2005). Biodiversity and litter decomposition in terrestrial ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 36: 191 – 218. doi: [10.1146/annurev.ecolsys.36.112904.151932](https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.36.112904.151932)
133. He, F. F., Rong, X. M., Liang, Y. S., Wu, A. P., Liu, Q. (2013). *Jour. Agro-Environ. Sci.*, 32, 1893 - 1900.
134. Heintze, G., Eickenscheidt, T., Schmidhalter, U., Drosler, M. (2017). Influence of Soil Organic Carbon on Greenhouse Gas Emission Potential After Application of Biogas Residues or Cattle Slurry: Results from a Pot Experiment. *Pedosphere* 27: 807 – 821. doi: [10.1016/S1002-0160\(17\)60388-6](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60388-6)
135. Henriksen, T. M., Breland, T. A. (2002). Carbon mineralization, fungal and bacterial growth, and enzyme activities as affected by contact between crop residues and soil. *Biology and Fertility of Soils* 35: 41-48. doi: [10.1007/s00374-001-0438-0](https://doi.org/10.1007/s00374-001-0438-0)

136. Hernandez-Ramirez, G., Brouder, S.M., Smith, D.R., Van Scoyoc, G.E. (2009). Greenhouse gas fluxes in an Eastern corn belt soil: Weather, nitrogen source, and rotation. *J. Environ. Qual* 38 (3): 841 – 854. doi: [10.2134/jeq2007.0565](https://doi.org/10.2134/jeq2007.0565)
137. Hijbeek, R., van Loon, M. P., van Ittersum, M. K. (2019). Fertiliser use and soil carbon sequestration: opportunities and trade-offs. CCAFS Working Paper no. 264. Wageningen, the Netherlands: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS).
138. Hiltner, L. (1904). Über neuere Erfahrungen und Probleme auf dem Gebiet der Bodenbakteriologie und unter besonderer Berücksichtigung der Grunddüngung und Brache. *Arb Dtsch Landw* 98: 59 – 78.
139. Hinsinger, P., Bengough, A.G., Vetterlein, D., Young, I. M. (2009). Rhizosphere: biophysics, biogeochemistry and ecological relevance. *Plant. Soil* 321: 117 – 152. doi: [10.1007/s11104-008-9885-9](https://doi.org/10.1007/s11104-008-9885-9)
140. Hirsch, P.R., Gilliam, L.M., Sohi, S.P., Williams, J.K., Clark, I.M., Murray, P.J. (2009). Starving the soil of plant inputs for 50 years reduces abundance but not diversity of soil bacterial communities. *Soil Biology and Biochemistry* 41: 2021 – 2024. doi: [10.1016/j.soilbio.2009.07.011](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.07.011)
141. Hopkins, DW., Gregorich, E.G. (2005). Carbon as a substrate for soil organisms. In: Bardgett RD, Usher MB, Hopkins DW. (Eds) *Biological diversity and function in soils*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 57-79.
142. HRN ISO 10390:2004. Kakvoća tla - Određivanje pH vrijednosti (ISO 10390:1994)
143. HRN ISO 10694:2004. Kakvoća tla - Određivanje organskoga i ukupnog ugljika suhim spaljivanjem (elementarna analiza) (ISO 10694:1995)
144. HRN ISO 11272:2004. Kakvoća tla - Određivanje volumne gustoće suhog tla (ISO 11272:1998)
145. HRN ISO 11277:2004. Kakvoća tla - Određivanje raspodjele veličine čestica (mehaničkog sastava) u mineralnom dijelu tla -- Metoda prosijavanja i sedimentacije (ISO 11277:1998+Cor 1:2002)
146. HRN ISO 11464:2009. Kakvoća tla - Priprema uzorka za fizikalno-kemijske analize (ISO 11464:2006)
147. HRN ISO 11465:2004. Kakvoća tla - Određivanje suhe tvari i sadržaja vode na osnovi mase -- Gravimetrijska metoda (ISO 11465:1993+Cor 1:1994)
148. HRN ISO 11508:2004. Kakvoća tla - Određivanje gustoće čvrstih čestica (ISO 11508:1998)
149. HRN ISO 13878:2004. Kakvoća tla - Određivanje sadržaja ukupnog dušika suhim spaljivanjem ("elementarna analiza") (ISO 13878:1998)
150. HRN ISO 14235:2004. Kakvoća tla - Određivanje organskog ugljika sulfokromnom oksidacijom (ISO 14235:1998)
151. Huang B., Sun W., Zhao Y., Zhu J., Yang R., Zou Z., Ding F., Su J. (2007). Temporal and spatial variability of soil organic matter and total nitrogen in an agricultural ecosystem as affected by farming practices. *Geoderma* 139: 336 – 345. doi: [10.1016/j.geoderma.2007.02.012](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.02.012)

152. Huang, Y., Zou, J., Zheng, X., Wang, Y., Xu, X. (2004). Nitrous oxide emissions as influenced by amendment of plant residues with different C:N ratio. *Soil Biol. Biochem* 36: 973 – 981. doi: [10.1016/j.soilbio.2004.02.009](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.02.009)
153. Husnjak, S. (2014). *Sistematika tala Hrvatske*, Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb, Hrvatska
154. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007). *AR4 Climate change 2007: Synthesis Report*.
155. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2018). *The Carbon Cycle and Atmospheric Carbon Dioxide*.
156. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2021). *Climate change 2021: The physical science basis. Working Group I contribution to the IPCC Sixth Assessment Report*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
157. IPCC. *Climate change. (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Agriculture, Forestry and Other Land Use: Geneva 2, Switzerland*.
158. Iqbal, J., Lin, S., Hu, R., Feng, M. (2009). Temporal variability of soil-atmospheric CO₂ and CH₄ fluxes from different land uses in mid-subtropical China, *Atmos. Environ.* 43: 5865 – 5875. doi: [10.1016/j.atmosenv.2009.08.025](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.08.025)
159. ISO 11265:1994. *Soil quality – Determination of the specific electrical conductivity*.
160. ISO 16586:2003. *Soil quality - Determination of soil water content as a volume fraction on the basis of known dry bulk density. Gravimetric method*
161. Jabro, J.D., Sainju, U., Stevens, W.B., Evans, R.G. (2008). Carbon Dioxide Flux as Affected by Tillage and Irrigation in Soil Converted from Perennial Forages to Annual Crops. *Journal of Environmental Management* 88: 1478 - 1484. doi: [10.1016/j.still.2014.07.003](https://doi.org/10.1016/j.still.2014.07.003)
162. Jarecki, M. K., Lal, R. (2006). Compost and Mulch Effects on Gaseous Flux From An Alfisol in Ohio. *Soil Sci* 171 (3): 249 – 260. doi: [10.1097/01.ss.0000209362.47698.96](https://doi.org/10.1097/01.ss.0000209362.47698.96)
163. Jiang T., Schuchardt F., Li G., Guo R., Zhao Y. (2011). Effect of C/N ratio, aeration rate and moisture content on ammonia and greenhouse gas emission during the composting. *J Environ. Sci* 23: 1754 – 1760. doi: [10.1016/S1001-0742\(10\)60591-8](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(10)60591-8)
164. Jin-Shi, L., Xue-Zheng, S., Xi-Xi, L., Dong-Sheng, Y., Hong-Jie, W., Yong-Cun, Z. (2009). Storage and Spatial Variation of Phosphorus in Paddy Soils of China. *Pedosphere* 19: 790 – 798. doi: [10.1016/S1002-0160\(09\)60174-0](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(09)60174-0)
165. Jones, D. B. (1941). *Factors for converting percentages of nitrogen in foods and feeds into percentages of proteins*. Washington, DC: US Department of Agriculture.
166. Jones, D.L., Hinsinger, P. (2008). The rhizosphere: complex by design. *Plant. Soil* 312: 1 – 6. doi: [10.1007/s11104-008-9774-2](https://doi.org/10.1007/s11104-008-9774-2)
167. Jones, S.K., Rees, R.M., Skiba, U.M., Ball, B.C. (2005). Greenhouse gas emissions from a managed grassland. *Glob. Planet. Change* 47: 201 – 211. doi: [10.1016/j.gloplacha.2004.10.011](https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2004.10.011)
168. Juma, N.G. (1998). *The pedosphere and its dynamics: A systems approach to soil science*. Quality Color Press Inc, Edmonton, Canada. 1: 315.

169. Jurisic A., Kisic I., Basic F., Zgorelec Z., Matotek S. (2011). Soil losses and soil degradation processes caused by harvest of sugar beet. *Növénytermelés/Crop production* 60: 255 – 258. doi: [10.1016/j.still.2012.03.012](https://doi.org/10.1016/j.still.2012.03.012)
170. Jurišić, A. (2012). Prostorna i vremenska raspodjela ukupnog i mineralnog dušika u pseudogleju pri različitoj gnojdbi dušikom. Doktorski rad, Zagreb.
171. Kalia, A., Gosal, S. K. (2011). Effect of pesticide application on soil microorganisms. *Archives of Agronomy and Soil Science* 57: 569-596. doi: [10.1088/1742-6596/1294/7/072007](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1294/7/072007)
172. Kautzman, B. (2019). Seasonal soil carbon fluxes in transitioning agricultural soils in Central Washington State: Relations to land-use, environmental Central Washington State: Relations to land-use, environmental factors and soil carbon-nitrogen characteristics factors and soil carbon-nitrogen characteristics. Diplomski rad, Central Washington University
173. Kessavalou, A., Mosier, A. R., Doran, J. W., Drijber, R. A., Lyon, D. J., Heinemeyer, O. (1998). Fluxes of Carbon Dioxide, Nitrous Oxide, and Methane in Grass Sod and Winter Wheat-Fallow Tillage Management. *Journal of Environmental Quality* 27: 1094 – 1104. doi: [10.2134/jeq1998.00472425002700050015x](https://doi.org/10.2134/jeq1998.00472425002700050015x)
174. Kirschbaum, M. U. F. (2000). Will changes in soil organic carbon act as a positive or negative feedback on global warming? *Biogeochem* 48: 21 – 51. doi: [10.1023/A:1006238902976](https://doi.org/10.1023/A:1006238902976)
175. Kirui, B., Huxham, M., Kairo, J., Mencuccini, M., Skov, M. W. (2009). Seasonal dynamics of soil carbon dioxide flux in a restored young mangrove plantation at Gazi Bay. *African Studies Centre*
176. Kisić I., Zgorelec Ž., Perčin A. (2017). Soil treatment engineering. *Phys. Sci. Rev* 2: 1 – 10. doi: [10.1515/psr-2016-0124](https://doi.org/10.1515/psr-2016-0124)
177. Kisić, I. (2012). Sanacija onečišćenoga tla. Agronomski fakultet Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
178. Kononov, A. V., Maximov, T. C., Moors, E. (2008). Soil temperature response of soil respiration in Central Yakutia. Available at: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/23418> [Pristupljeno: 03. kolovoza 2023.].
179. Kowalenko, C. G., Ivarson, K.C., Cameron, D.R. (1978). Effect of moisture content, temperature and nitrogen fertilization on carbon dioxide evolution from field soils. *Soil. Biol. Biochem. J* 10: 417 – 423. doi: [10.1016/0038-0717\(78\)90068-8](https://doi.org/10.1016/0038-0717(78)90068-8)
180. Kurganova, I., Lopes de Gerenyu, V., Rozanova, L., sapronov, D., Myakshina, T. (2003.) Annual and seasonal CO₂ fluxes from Russian Southern taiga soils. *Tellus* 55: 338 – 344. doi: [10.3402/tellusb.v55i2.16724](https://doi.org/10.3402/tellusb.v55i2.16724)
181. Kuriyama, T., Hui, P. Q., salmawati, S., sasaki, K. (2021). A Threshold Line for Safe Geologic CO₂ Storage Based on Field Measurement of Soil CO₂ Flux. *Journal of Carbon Research* 7: 34. doi: [10.3390/c7020034](https://doi.org/10.3390/c7020034)
182. Kuzyakov, Y. (2006). Sources of CO₂ efflux from soil and review of partitioning methods. *Soil Biol. Biochem* 38 (3): 425 – 448. doi: [10.1016/j.soilbio.2005.08.020](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.08.020)
183. La Scala N., Marques J., Pereira G., Cora J. (2000). Carbon dioxide emission related to chemical properties of a tropical bare soil. *Soil Biology and Biochemistry* 32: 1469-1473. doi: [10.1016/S0038-0717\(00\)00053-5](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00053-5)

184. Lal R. (2003). Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect. *Crit. Rev. Plant. Sci* 22: 151 – 184. doi: [10.1016/j.geoderma.2004.01.032](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032)
185. Lal, R. (2004). Agricultural activities and the global carbon cycle. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 70: 103 – 116. doi: [10.1023/B:FRES.0000048480.24274.0f](https://doi.org/10.1023/B:FRES.0000048480.24274.0f)
186. Lal, R. (2010). Managing soils and ecosystems for mitigating anthropogenic carbon emissions and advancing global food security. *Bioscience* 60: 708 – 721. doi: [10.1525/bio.2010.60.9.8](https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.9.8)
187. Lal, R. (2018). Digging deeper: a holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems. *Global Change Biol* 24: 3285 – 3301. doi: [10.1111/gcb.14054](https://doi.org/10.1111/gcb.14054)
188. Lal, R., Follett, R. F., Kimble, J., Cole, C. V. (1999). Managing US cropland to sequester carbon in soil. *Journal of Soil and Water Conservation* 54: 374 - 381.
189. Lal, R., Negassa, W., Lorenz, K. (2015). Carbon sequestration in soil. *Current Opinion in Environmental. Sustainability* 15: 79 – 86. doi: [10.1016/j.cosust.2015.09.002](https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.09.002)
190. Lambers, H., van der Werf, A., Konings, H. (1991). Respiratory patterns in root in relation to their functioning. In *Plant Roots: The Hidden Half*, ed. Y. Waisel, A. Eshel and U. Kafkafi. New York: Marcel Dekker 229 – 264. doi: [10.1201/9780203909423.pt6](https://doi.org/10.1201/9780203909423.pt6)
191. Lavigne, M.B., Boutin, R., Foster, R.J. (2003). Soil respiration responses to temperature are controlled more by roots than by decomposition in balsam fir ecosystems. *Canadian Journal of Forest Research* 33: 1744 – 1753. doi: [10.1139/x03-090](https://doi.org/10.1139/x03-090)
192. Lavigne, M.B., Foster, R.J., Goodine, G. (2004). Seasonal and annual changes in soil respiration in relation to soil temperature, water potential and trenching. *Tree Physiology*, 24: 415 – 424. doi: [10.1093/treephys/24.4.415](https://doi.org/10.1093/treephys/24.4.415)
193. Lecomte, X., Caldeira, M. C., Catry, F. X., Fernandes, P. M., Jackson, R. B., Bugalho, M. N. (2018). Ungulates mediate trade-offs between carbon storage and wildfire hazard in Mediterranean oak woodlands. *J App. Eco* 56: 699 – 7110. doi: [10.1111/1365-2664.13310](https://doi.org/10.1111/1365-2664.13310)
194. Lee, M.S., Nakane, K., Nakatsubo, T. (2003). Seasonal changes in the contribution of root respiration to total soil respiration in a cool-temperate deciduous forest. *Plant and Soil* 255: 311 – 318. doi: [10.1023/A:1026192607512](https://doi.org/10.1023/A:1026192607512)
195. Li, N., Zhang, X. P., Zhang, L. M. (2014). Macro-soil fauna guilds in Korean pine plantation forest and secondary forest. *Chin. J. Appl. Environ. Biol* 1, 22 – 29. doi: [10.3724/SP.J.1145.2014.00022](https://doi.org/10.3724/SP.J.1145.2014.00022)
196. Liang, J.I.N.; Chang-Yi, L.U.; Yong, Y.E.; Gong-Fu, Y.E. (2013.) Soil respiration in a subtropical mangrove wetland in the Jiulong River Estuary, China. *Pedosphere* 23: 678–685. doi: [10.1016/S1002-0160\(13\)60060-0](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(13)60060-0)
197. Lieth, H., Ouellette, R. (1962). Studies on the vegetation of the Gaspé Peninsula. II. The soil respiration of some plant communities. *Can. J. Bot* 40: 127 – 140. doi: [10.1139/b62-014](https://doi.org/10.1139/b62-014)
198. Liu H., Li J., Li X., Zheng Y., Feng S., Jiang G. (2014). Mitigating greenhouse gas emissions through replacement of chemical fertilizer with organic manure in a temperate farmland. *Sci Bull* 60: 598 – 606. doi: [10.1007/s11434-014-0679-6](https://doi.org/10.1007/s11434-014-0679-6)

199. Liu, H., Ding, Y., Zhang, Q., Liu, X., Xu, J., Li, Y., Di, H. (2018). Heterotrophic nitrification and denitrification are the main sources of nitrous oxide in two paddy soils. *Plant and soil* 445: 39 – 53. doi: [10.1007/s11104-018-3860-x](https://doi.org/10.1007/s11104-018-3860-x)
200. Liu, X., Wan, S., Su, B., Hui, D., Luo, Y. (2002). Response of soil CO₂ efflux to water manipulation in a tallgrass prairie ecosystem. *Plant Soil* 240: 213 – 223. doi: [10.1023/A:1015744126533](https://doi.org/10.1023/A:1015744126533)
201. Lo, C. C. (2010). Effect of pesticides on soil microbial community. *Journal of Environmental Science and Health* 45: 348-359. doi: [10.1080/03601231003799804](https://doi.org/10.1080/03601231003799804)
202. Lou, Y., Li, Z., Zhang, T. (2003). Carbon dioxide flux in a subtropical agricultural soil of china. *Water, air and soil pollution* 149: 281 – 293. doi: [10.1023/A:1025727504841](https://doi.org/10.1023/A:1025727504841)
203. Lou, Y., Li, Z., Zhang, T., Liang, Y. (2004). CO₂ emissions from subtropical arable soils of China. *Soil Biology and Biochemistry* 36: 1835 – 1842. doi: [10.1016/j.soilbio.2004.05.006](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.05.006)
204. Lu X.L., Lu X.N., Tanveer S.K., Wen X.X., Liao Y.C. (2015). Effects of tillage management on soil CO₂ emission and wheat yield under rain-fed conditions. *Soil Research* 54: 38 – 48. doi: [10.1071/SR14300](https://doi.org/10.1071/SR14300)
205. Ludwig, J., Meixner, F.X., Vogel, B., Förstner, J. (2001). Soil-air exchange of nitric oxide: an overview of processes, environmental factors, and modeling studies. *Biogeochem* 52: 225 – 257. doi: [10.1023/A:1006424330555](https://doi.org/10.1023/A:1006424330555)
206. Luo, G., Chen, X., Xu, W. (2008). Soil properties related to land-use systems in oases of Sangong river watershed, Xinjiang. *Journal of Geographical Systems* 18: 483-498. doi: [10.1007/s11442-008-0483-9](https://doi.org/10.1007/s11442-008-0483-9)
207. Luo, Y., Zhou, X. (2004). *Soil respiration and the environment*. Academic Press, 328.
208. Luque, A. G., Pioli, R., Bonel, B., Alvarez, D. P. (2005). Cellulolytic fungi populations in stubble and soil as affected by agricultural management practices. *Biological agriculture & horticulture* 23: 121-142. doi: [10.1080/01448765.2005.9755316](https://doi.org/10.1080/01448765.2005.9755316)
209. Macfadyen, A. (1963). The contribution of the microfauna to total soil metabolism. *Soil Organisms* 3-16.
210. Macfadyen, A. (1970). Simple methods for measuring and maintaining the proportion of carbon dioxide in air, for use in ecological studies or soil respiration. *Soil Biolog. Biochem* 2: 9 – 18. doi: [10.1016/0038-0717\(70\)90020-9](https://doi.org/10.1016/0038-0717(70)90020-9)
211. Mäder, P., Fließbach, A., Dubois, D. (2002). Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming Science. *Science* 296: 1694 – 1697. doi: [10.1126/science.1071148](https://doi.org/10.1126/science.1071148)
212. Madhav, PT., Jan, W.G., Imke, K., Gerlinde, B. D. D. (2014). Interactions between microbial-feeding and predatory soil fauna trigger N₂O emissions. *Soil Biol Biochem* 70: 256 – 262. doi: [10.1016/j.soilbio.2013.12.020](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.12.020)
213. Mahmood, F., Khan, I., Ashraf, U., Shahzad, T., Hussain, S., Shahid, M., Ullah, S. (2017). Effects of organic and inorganic manures on maize and their residual impact on soil physico-chemical properties. *Journal of soil science and plant nutrition* 17: 22 – 32. doi: [10.4067/S0718-95162017005000002](https://doi.org/10.4067/S0718-95162017005000002)
214. Maia, S. M. F., Carvalho, J. L. N., Cerri, C. E. P., Lal, R., Bernoux, M., Galdos, M. V., Cerri, C. C. (2013). Contrasting approaches for estimating soil carbon changes in Amazon and Cerrado biomes. *Soil and Tillage research* 133: 75-84. doi: [10.1016/j.still.2013.06.002](https://doi.org/10.1016/j.still.2013.06.002)

215. Maier, C.A., Kress, L.W. (2000). Soil CO₂ evolution and root respiration in 11 year-old loblolly pine (*Pinus taeda*) plantations as affected by moisture and nutrient availability. *Can. J. For. Res* 30 (3): 347 – 359. doi: [10.1139/x99-218](https://doi.org/10.1139/x99-218)
216. Mancinelli, R., Marinari, S., Brunetti, P., Radicetti, E., Campiglia, E. (2015). Organic mulching, irrigation and fertilization affect soil CO₂ emission and C storage in tomato crop in the Mediterranean environment. *Soil and Tillage Research* 152, 39 – 51. doi: [10.1016/j.still.2015.04.001](https://doi.org/10.1016/j.still.2015.04.001)
217. Martinović, J. (2000.) Tloznanstvo u zaštiti okoliša. Priručnik za inženjere, Zagreb
218. Mathiba, M., Awuah-Offei, K., Baldassare, F. J. (2014). Influence of elevation, soil temperature and soil moisture content on reclaimed mine land soil CO₂ fluxes. *Environ. Earth Sci.* Springer
219. Mazur, Z., Mazur, T. (2015). Effects of Long-Term Organic and Mineral Fertilizer Applications on Soil Nitrogen Content. *Polish Journal of Environmental Studies*. 24: 2073 – 2078. doi: [10.1016/j.eja.2023.126797](https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126797)
220. McGrath, D., Zhang, C. (2003). Spatial Distribution of Soil Organic Carbon Concentrations in Grassland of Ireland. *Applied Geochemistry* 18, 1629 – 1639. doi: [10.1016/S0883-2927\(03\)00045-3](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(03)00045-3)
221. Merbach W., Garz J., Schliephake W., Stumpe H., Schmidt I. (2000). The long-term fertilization trials in Halle – introduction and overview. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 163: 627 – 636. doi: [10.1002/1522-2624\(200012\)163:6<629::AID-JPLN629>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/1522-2624(200012)163:6<629::AID-JPLN629>3.0.CO;2-P)
222. Mesić, M., Birkas, M., Zgorelec, Ž., Kisić, I., Jurišić, A., Šestak, I. (2012). Carbon content and C/N ratio in Pannonian and Mediterranean soils. Faculty of agriculture, University of Zagreb. In: Birkas and Mesić: Impact of tillage and fertilization on probable climate threats in Hungary and Croatia, soil vulnerability and protection. Hungarian-Croatian Intergovernmental S&T Cooperation, 2010 – 2011.
223. Mesić, M., Birkas, M., Zgorelec, Ž., Kisić, I., Šestak, I., Jurišić, A., Husnjak, R. (2014). Soil carbon variability in some Hungarian and Croatian soils. In: *Soil Carbon*, Springer
224. Mesić, M., Zgorelec, Ž., Šestak, I., Jurišić, A., Bilandžija, D., Bogunović, I. (2013). Monitoring vode iz drenskih cijevi za 2013. godinu. „Gnojidba dušikom prihvatljiva za okoliš„. Izvješće o radu, Zagreb, 2013.
225. Metcalfe, D.B., Meir, P., Aragaõ, L. E. O. C., da Costa, A. C. L. , Braga, A., Goncalves, P. H. L., de Athaydes, J., de Almeida, S.S., Williams, M. (2007). Factors controlling spatio-temporal variation in carbon dioxide efflux from surface litter, roots, and soil organic matter at four rain forest sites in the eastern Amazon. *J. Geophys. Res. Biogeosci* 112: 1 – 9. doi: [10.1029/2007JG000443](https://doi.org/10.1029/2007JG000443)
226. Mielnick, P.C., Dugas, W.A. (1999). Soil CO₂ flux in a tallgrass prairie. *Soil Biol. and Biochem* 32 (2): 221 – 228. doi: [10.1016/S0038-0717\(99\)00150-9](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00150-9)
227. Mierzwa-Hersztek, M., Wolni-Koladka, K., Gondek, K., Galazka, A., Gawryjolek, K. (2020). Effect of Coapplication of Biochar and Nutrients on Microbiocenotic Composition, Dehydrogenase Activity Index and Chemical Properties of Sandy Soil. *Waste and Biomass Valorization* 11: 3911 – 3923. doi: [10.1007/s12649-019-00757-z](https://doi.org/10.1007/s12649-019-00757-z)

228. Mignon, S., Maxim, A., Opruia, C. (2011). Soil Respiration in Mineral and Organic Fertilized Soils During Springtime in a Potato Field. *ProEnviron* 4: 316 – 319.
229. Miladinović, J. (2012). Vodič za organsku proizvodnju soje. Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad
230. Moore, T. R., Dalva, M. (1997). Methane and Carbon Dioxide Exchange Potentials of Peat Soils in Aerobic and Anaerobic Laboratory Incubations, *Soil Biol. Biochem* 29 (8): 1157 – 1164. doi: [10.1016/S0038-0717\(97\)00037-0](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(97)00037-0)
231. Moorman, T. B. (1989). A review of pesticide effects on microorganisms and microbial processes related to soil fertility. *Journal of Production Agriculture* 2: 14-23. doi: [10.2134/jpa1989.0014](https://doi.org/10.2134/jpa1989.0014)
232. Morison, M. Q., Macrae, M. L., Petrone, R. M., Fishback, L. (2018). Climate-induced changes in nutrient transformations across landscape units in a thermokarst subarctic peatland. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 50: e1519366. doi: [10.1080/15230430.2018.1519366](https://doi.org/10.1080/15230430.2018.1519366)
233. Moyano, F. E., Atkin, O., Bahn, M., Bruhn, D. (2009). Respiration from roots and the mycorrhizosphere. Chapter 7 in *Soil Carbon Dynamics*. Cambridge University Press
234. Moyano, F., Kutsch, W.L., Schulze, E.D. (2007). Response of mycorrhizal, rhizosphere and soil basal respiration to temperature and photosynthesis in a barley field. *Soil. Biol. Biochem* 39 (4): 843 – 853. doi: [10.1016/j.soilbio.2006.10.001](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.10.001)
235. Mrkonjić Fuka, M., Blažinkov, M., Radl, V., Jug, D., Hulak, N., Redžepović, S., Schloter, M. (2015). Effect of Soil Tillage Practices on Dynamic of Bacterial Communities in Soil. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 80: 3, 147-151.
236. Munjonji, L., Ayisi, K. K., Mafeo, T. P., Maphanga, T., Mabitsela, K. E. (2021). Seasonal variation in soil CO₂ emission and leaf gas exchange of well-managed commercial *Citrus sinensis* (L.) orchards. *Plant and Soil* 465: 65 – 81. doi: [10.1007/s11104-021-04986-x](https://doi.org/10.1007/s11104-021-04986-x)
237. Nannipieri, P., Ascher, J., Ceccherini, M. T., Landi, L., Pietramellara, G., Renella, G. (2003). Microbial diversity and soil functions. *Eur. J. Soil Sci* 68 (1): 655 – 670. doi: [10.1111/ejss.4_12398](https://doi.org/10.1111/ejss.4_12398)
238. Nannipieri, P., Badalucco, L. (2003). Biological processes. In: *Processes in the Soil–Plant System: Modelling Concepts and Applications* (eds D.K. Bembli & R. Nieder). The Haworth Press, Binghamton, NY.
239. Nardi, S., Morari, F., Berti, A., Toson, M. Giardini, L. (2004). Soil organic matter properties after 40 years of different use of organic and mineral fertilizers. *Europ. J. Agronomy* 21: 357 – 367. doi: [10.1016/j.eja.2003.10.006](https://doi.org/10.1016/j.eja.2003.10.006)
240. NG (2019). National Geographic. Carbon dioxide levels are at a record high. Here's what you need to know. Available at: <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/greenhouse-gases> [Pristupljeno: 03. rujna 2023.].
241. Nguyen, T., Shindo, H. (2011). Effects of different levels of compost application on amounts and distribution of organic nitrogen forms in soil particle size fractions subjected mainly to double cropping. *Agricultural Sciences* 2: 213–219. doi: [10.4236/as.2011.23030](https://doi.org/10.4236/as.2011.23030)

242. Nihorimbere, V., Ongena, M., Smargiassi, M., Thonart, P. (2011). Beneficial effect of the rhizosphere microbial community for plant growth and health. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment* 15: 327- 333.
243. NIR (2021). Izveštće o inventaru stakleničkih plinova na području Republike Hrvatske za razdoblje 1990.-2019. Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, Hrvatska
244. Nivethadevi, P., Swaminathan, C., Kannan, P. (2021). Soil Organic Matter Decomposition-Roles, Factors and Mechanisms. In: *Latest Trends in Soil Science*, Chapter 4: 63 – 91. doi: [10.1038/s41396-018-0331-6](https://doi.org/10.1038/s41396-018-0331-6)
245. Noormets, A. (2009). *Phenology of ecosystem processes: application in global change research*. Springer Nature, New York
246. Norberg, L., Berglund, Ö., Berglund, K. (2016). Seasonal CO₂ emission under different cropping systems on Histosols in Southern Sweden. *Geoderma Regional* 7: 338 – 345. doi: [10.1016/j.geodrs.2016.06.005](https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2016.06.005)
247. Obire, O., Anyanwu, E. C., Okigbo, R. N. (2008). Saprophytic and crude oil degrading fungi from cow dung and poultry droppings as bioremediating agents. *Journal of Agricultural Technology* 4: 81-89.
248. Ogle, S.M., Breidt, F.J. Paustian, K. (2005). Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. *Biogeochem* 72 (1): 87 – 121. doi: [10.1007/s10533-004-0360-2](https://doi.org/10.1007/s10533-004-0360-2)
249. O'Leary, B. M., Asao, S., Millar, A. H., Atkin, O. K. (2019). Core principles which explain variation in respiration across biological scales. *New Phytologist* 222: 670 – 686. doi: [10.1111/nph.15576](https://doi.org/10.1111/nph.15576)
250. Oliviera, S. P., Lacerda, N. B., Blum, S. C., Escobar, M. E. O., Oliviera, T. S. (2015). Organic Carbon and Nitrogen Stocks in Soils of Northeastern Brazil Converted to Irrigated Agriculture. *Land Degradation & Development* 26: 9-21. doi: [10.1002/ldr.2264](https://doi.org/10.1002/ldr.2264)
251. Ontl, T., Schulte, L. A. (2012). Soil carbon storage. *Nature Education Knowledge* 3: 35.
252. Orgiazzi, A., M. B., Dunbar, P., Panagos, G., de Groot, A., Lemanceau, P. (2015). Soil biodiversity and DNA barcodes: Opportunities and challenges. *Soil Biology and Biochemistry* 80, 244 - 250. doi: [10.1016/j.soilbio.2014.10.014](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.10.014)
253. Osler, G. H. R., Sommerkorn, M. (2007). Toward a complete soil C and N cycle: Incorporating the soil fauna. *Ecology* 88: 1611 – 1621. doi: [10.1890/06-1357.1](https://doi.org/10.1890/06-1357.1)
254. Palta, J. A. Nobel, P. S. (1989). Root respiration of *Agave deserti*: influence of temperature, water status and root age on daily patterns. *Journal of Experimental Botany* 40: 181 – 186. doi: [10.1093/jxb/40.2.181](https://doi.org/10.1093/jxb/40.2.181)
255. Parkin, T. B., Kaspar, T. C. (2003). Temperature controls on diurnal carbon dioxide flux: Implications for estimating soil carbon loss. *Soil Science Society of America Journal* 67: 1763 – 1772. doi: [10.2136/sssaj2003.1763](https://doi.org/10.2136/sssaj2003.1763)
256. Paustian, K., Cole, C.V. Sauerbeck, D., Sampson, N. (1998). CO₂ mitigation by agriculture: An overview. *Clim. Change* 40 (1): 135 – 162. doi: [10.1023/A:1005347017157](https://doi.org/10.1023/A:1005347017157)
257. Peh nec, G., Bešlić, I., Vadić, V. (2013). Koncentracije ozona u zraku Zagreba u razdoblju 2003.-2012. 8. Hrvatski znanstveno-stručni skup „Zaštita zraka '13”.

258. Pendall, E., Del Grosso, S., King, J.Y. (2003). Elevated atmospheric CO₂ effects and soil water feedbacks on soil respiration components in a Colorado grassland. *Global Biogeochemical Cycles* 17: 1046 – 1059. doi: [10.1029/2001GB001821](https://doi.org/10.1029/2001GB001821)
259. Penzar, I., Penzar, B. (2000). *Agroklimatologija. Školska knjiga*, Zagreb, Hrvatska
260. Pešaković, M., Mandić, L., Đukić, D. (2003). Soil ammonification activity in the conditions of mineral and organic fertilizer use. *Acta Agriculturae Serbica* 8 (16): 49-56.
261. Phillips, R. P., Fahey, T. J. (2007). Fertilization effects on fineroot biomass, rhizosphere microbes and respiratory fluxes in hardwood forest soils. *New Phytologist*. 176, 655 – 664. doi: [10.1111/j.1469-8137.2007.02204.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02204.x)
262. Pinheiro Junior, C. R., pereira, M. G., Filho, J. S. O., Beutler, S. J. (2019). Can topography affect the restoration of soil properties after deforestation in a semiarid ecosystem? *Journal of Arid Environments* 162, 45 – 52. doi: [10.1016/j.jaridenv.2018.11.004](https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.11.004)
263. Plaza, C., Zaccone, C., Sawicka, K., Méndez, A. M., Tarquis, A., Gascó, G., Heuvelink, G. B. M., Schuur, E. A. G., Maestre, F. T. (2018). Soil resources and element stocks in drylands to face global issues. *Sci. Rep* 8, 13788. doi: [10.1038/s41598-018-32229-0](https://doi.org/10.1038/s41598-018-32229-0)
264. Pochon, J. (1954). *Technical Manual for Soil Microbiology Analysis* (in French), Masson, Publications de la Société Linnéenne de Lyon, Paris, France.
265. Poeplau, C., Zopf, D., Greiner, B., Geerts, R., Korvaar, H., Thumm, U., Don, A., Heidkamp, A., Flessa, H. (2018). Why does mineral fertilization increase soil carbon stocks in temperate grasslands? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 265: 144 – 155. doi: [10.1016/j.agee.2018.06.003](https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.06.003)
266. Pouloupoulos, S. G. (2016). *Environment and Development: Basic Principles, Human Activities, and Environmental Implications* focuses. Chapter 2 - Atmospheric Environment, Elsevier.
267. Pregitzer, K. S., DeForest, J. L., Burton, A. J., Allen, M. F., Ruess, R. W., Hendrick, R. L. (2002). Fine Root Architecture of Nine North American Trees, *Ecological Monographs* 72: 293 – 309. doi: [10.1890/0012-9615\(2002\)072\[0293:FRAONN\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9615(2002)072[0293:FRAONN]2.0.CO;2)
268. Pregitzer, K. S., Laskowski, M. J., Burton, A. J., Lessard, V. C., Zak, D. R. (1998). Variation in sugar maple root respiration with root diameter and soil depth. *Tree Physiology* 18: 665 – 670. doi: [10.1093/treephys/18.10.665](https://doi.org/10.1093/treephys/18.10.665)
269. Pütz, S., Groeneveld, J., Henle, K., Knogge, C., Camargo, A., Markus Metz, M., Metzger, J. P., Ribeiro, M. C., Dantas de Paula, M., Huth, A. (2014). Long-term carbon loss in fragmented Neotropical forests. *Nat. Commun* 7: 5037. doi: [10.1038/ncomms6037](https://doi.org/10.1038/ncomms6037)
270. Qian, P., Schoenau, J. J. (2002). Availability of nitrogen in solid manure amendments with different C: N ratios. *Canadian Journal of Soil Science* 82: 219 – 225. doi: [10.4141/S01-018](https://doi.org/10.4141/S01-018)
271. Rahman, M.M. (2010). Carbon sequestration options in soils under different crops and their management practices. *Agriculturists* 8: 90–101. doi: [10.5772/intechopen.87107](https://doi.org/10.5772/intechopen.87107)
272. Rahman, S., Gautam, D. P., Borhan, M. S., Engel, C. (2016). The effect of feeding high fat diet to beef cattle on manure composition and gaseous emission from a feedlot pen surface. *J Anim. Sci. Technol* 58 (6): 1 – 15. doi: [10.1186/s40781-016-0104-6](https://doi.org/10.1186/s40781-016-0104-6)

273. Raich, J. W., Kaiser, M. S., Dornbush, M. E., Martin, J. G., Valverde-Barrantes, J. (2023). Multiple factors co-limit short-term in situ soil carbon dioxide emissions. *Plos one* 18(2): e0279839. doi: [10.1371/journal.pone.0279839](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0279839)
274. Raich, J. W., Potter, C. S. (1995). Global patterns of carbon dioxide emissions from soils. *Global Biogeochemical Cycles*. 9: 23 – 36. doi: [10.1029/94GB02723](https://doi.org/10.1029/94GB02723)
275. Raich, J.W., Potter, C.S., Bhagawati, D. (2002). Interannual variability in global soil respiration, 1980-94. *Glob. Chang. Biol* 8: 800 – 812. doi: [10.1046/j.1365-2486.2002.00511.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00511.x)
276. Raich, J.W., Schlesinger, W.H. (1992). The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus* 44 (2): 81 – 99. doi: [10.3402/tellusb.v44i2.15428](https://doi.org/10.3402/tellusb.v44i2.15428)
277. Raich, J.W., Tufekciogul, A. (2000). Vegetation and soil respiration: correlations and controls. *Biogeochemistry* 48: 71 – 90. doi: [10.1023/A:1006112000616](https://doi.org/10.1023/A:1006112000616)
278. Rastogi, M., Singh S., Path, H. (2002). Emission of carbon dioxide from soil. *Curr. Sci* 82: 510 – 517.
279. Ray, R. L., Griffin, R. W., fares, A., Elhassan, A., Awal, R., Woldensebet, S., Risch, E. (2020). Soil CO₂ emission in response to organic amendments, temperature, and rainfall. *Scientific Reports* 3: e5894 doi: [10.1038/s41598-020-62267-6](https://doi.org/10.1038/s41598-020-62267-6).
280. Read, D. J., Perez-Moreno, J. (2003). Mycorrhizas and nutrient cycling in ecosystems—a journey towards relevance? *New Phytol* 157: 475 – 492. doi: [10.1046/j.1469-8137.2003.00704.x](https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00704.x)
281. Redžepović S., (1985). Mikrobiološka studija tala OOUR "Poljoprivreda" Daruvar, RO "Poljoprivreda", SOUR "Podravka"- Koprivnica, Zagreb
282. Reichle, D. E., McBrayer, J. F., Ausmus, B. S. (1975). Ecological energetics of decomposer invertebrates in a deciduous forest and total respiration budget. *Progress in Soil Zoology* 283 -292. doi: [10.1007/978-94-010-1933-0_31](https://doi.org/10.1007/978-94-010-1933-0_31)
283. Reichle, D., Houghton, J., Kane, B., Ekmann, J. (1999). Carbon sequestration research and development. Available at: <https://www.osti.gov/servlets/purl/810722> [Pristupljeno: 17 lipnja 2023.]
284. Ren F., Zhang X., Liu J., Sun N., Wu L., Li Z., Xu M. (2017). A synthetic analysis of greenhouse gas emissions from manure amended agricultural soils in China. *Sci. Rep* 7: 8123. doi: [10.1038/s41598-017-07793-6](https://doi.org/10.1038/s41598-017-07793-6)
285. Rey, A., Pegoraro, E., Oyonarte, C., Were, A., Escribano, P., Raimundo, J. (2011). Impact of land degradation on soil respiration in a steppe (*Stipa tenacissima* L.) semi-arid ecosystem in the SE of Spain. *Soil biology & Biochemistry* 43: 393 – 403. doi: [10.1016/j.soilbio.2010.11.007](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.11.007)
286. Rochette, P., Desjardins, R. L., Pattey, E. (1991). Spatial and temporal variability of soil respiration in agricultural fields, *Can. J. Soil Sci* 71: 189 – 196. doi: [10.4141/cjss91-018](https://doi.org/10.4141/cjss91-018)
287. Rochette, P., Gregorich, E.G. (1998). Dynamics of soil microbial biomass C, soluble organic C and CO₂ evolution after tree years of manure application. *Can. J. Soil. Sci* 78: 283 – 290. doi: [10.4141/S97-066](https://doi.org/10.4141/S97-066)

288. Rodeghiero, M., Cescatti, A. (2005). Main determinants of forest soil respiration along an elevation/temperature gradient in the Italian Alps. *Glob Change Biol.* 11: 1024 – 1041. doi: [10.1111/j.1365-2486.2005.00963.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.00963.x)
289. Roohi, M., Saleem Arif, M., Guillaume, T., Yasmeen, T., Riaz, M., Shakoob, A., Hassan Farooq, T., Muhammad, S., Bragazza, L. (2022). Role of fertilization regime on soil carbon sequestration and crop yield in a maize-cowpea intercropping system on low fertility soils. *Geoderma* 428: 116152. doi: [10.1016/j.geoderma.2022.116152](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116152)
290. Ross, D. J., Tate, K. R., Scott, N. A., Feltham, C. W. (1999). Land-use Change: Effects on Soil Carbon, Nitrogen and Phosphorus Pools and Fluxes in Three Adjacent Ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry* 31: 803 – 813. doi: [10.1016/S0038-0717\(98\)00180-1](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(98)00180-1)
291. Russell, E., Appleyard, A. (1915). The atmosphere of the soil, its composition and causes of variation. *J. Agric. Sci* 7: 1 – 44. doi: [10.1017/S0021859600002410](https://doi.org/10.1017/S0021859600002410)
292. Ryals R., Silver W.L. (2013). Effects of organic matter amendments on net primary productivity and greenhouse gas emissions in annual grasslands. *Ecol. Appl* 23 (1): 46 – 59. doi: [10.1890/12-0620.1](https://doi.org/10.1890/12-0620.1)
293. Ryals, R., kaiser, M., Torn, M. S., berhe, A. A., Silver, W. L. (2014). Impacts of organic matter amendments on carbon and nitrogen dynamics in grassland soils. *Soil Biology and Biochemistry* 68: 52 – 61. doi: [10.1016/j.soilbio.2013.09.011](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.09.011)
294. Sądej, W., Przekwas, K. (2008). Fluctuations of nitrogen levels in soil profile under conditions of a long-term fertilization experiment. *Plant and soil environment* 54: 197 – 203. doi: [10.17221/394-PSE](https://doi.org/10.17221/394-PSE)
295. Sainju, U. M., Jabro, J. D., Stewens, W. B. (2008). Soil Carbon Dioxide Emission and Carbon Content as Affected by Irrigation, Tillage, Cropping System, and Nitrogen Fertilization. *J. Envi. Qual* 37 (1): 98 – 106. doi: [10.2134/jeq2006.0392](https://doi.org/10.2134/jeq2006.0392)
296. Salinas-Alcántara, L., Vaca, R., Aguila, P., Portilla-Lopez, N., Yanez-Ocampo, G., Sanchez-Paz, L., Lugo, J. A. (2022). Impact of Tillage and Fertilization on CO2 Emission from Soil under Maize Cultivation. *Agriculture* 12 (4): 555. doi: [10.3390/agriculture12040555](https://doi.org/10.3390/agriculture12040555)
297. Sandor M. (2010). Soil Respiration: Concept and Measurement Methods. A Review. *ProEnvironment* 3: 54 – 57.
298. Savage, K.E., Davidson, E.A. (2001). Interannual variation of soil respiration in two New England forests. *Global Biogeochemical Cycles* 15: 337 – 350. doi: [10.1029/1999GB001248](https://doi.org/10.1029/1999GB001248)
299. Sayer, E.J., Powers, J.S., Tanner, E.V. (2007). Increased litterfall in tropical forests boosts the transfer of soil CO2 to the atmosphere. *PLoS One* 2: 1299. doi: [10.1371/journal.pone.0001299](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001299)
300. Scharlemann, J., Tanner, E., Hiederer, R., Kapos, V. (2014). Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon. Manag.* 14: 81 – 91. doi: [10.4155/cmt.13.77](https://doi.org/10.4155/cmt.13.77)
301. Schlesinger, W. H. (1997). *Biogeochemistry: An Analysis of Global Change*, 2nd ed., Academic, San Diego, California
302. Schlesinger, W. H., Andrews, J. A. (2000). Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochem* 48: 7 – 20. doi: [10.1023/A:1006247623877](https://doi.org/10.1023/A:1006247623877)

303. Schwendenmann, L., Macinnis, C. (2016). Soil CO₂ efflux in an old-growth southern conifer forest (*Agathis australis*) – magnitude, components and control. *Soil* 2 (3): 403 – 419. doi: [10.5194/soil-2-403-2016](https://doi.org/10.5194/soil-2-403-2016)
304. Scott A., Ball B. C., Crichton I. J., Aitken M. N. (2000). Nitrous oxide and carbon dioxide emissions from grassland amended with sewage sludge. *Soil use. Manag* 16: 36 – 41. doi: [10.1111/j.1475-2743.2000.tb00170.x](https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2000.tb00170.x)
305. Scott-Denton, L.E, Sparks, K.L., Monson, R.K (2003). Spatial andtemporal controls of soil respiration rate in a high-elevation,subalpine forest. *Soil Biology and Biochemistry* 35: 525 –534. doi: [10.1016/S0038-0717\(03\)00007-5](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(03)00007-5)
306. Scott-Denton, L.E., Rosenstiel, T.N., Monson,. RK. (2006). Differential controls by climate and substrate over the heterotrophic and rhizospheric components of soil respiration. *Global Change Biology* 12: 205 –216. doi: [10.1111/j.1365-2486.2005.01064.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01064.x)
307. Semenov, M. V., Krasnov, G. S., Semenov, V. M., Ksenofontova, N., Zinyakova, N. B., van Bruggen, A. H. (2021). Does fresh farmyard manure introduce surviving microbes into soil or activate soil-borne microbiota? *Journal of Environmental Management* 294: 113018. doi: [10.1016/j.jenvman.2021.113018](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113018)
308. Setia, R., Marschen, P., Baldock, J. A. (2011). Relationships between carbon dioxide emission and soil properties in salt-affected landscapes. *Soil biology and biochemistry* 43(3): 667 – 674. doi: [10.1016/j.soilbio.2010.12.004](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.12.004)
309. Shao, R., Deng, L., Yang, Q. H., Shangguan, Z. P. (2014). Nitrogen fertilization increase soil carbon dioxide efflux of winter wheat field: A case study in Northwest China. *Soil Till. Res* 143: 164 – 171. doi: [10.1016/j.still.2014.07.003](https://doi.org/10.1016/j.still.2014.07.003)
310. Shimizu, M., Hatano, R., Arita, R., Kouda, Y., Mori, A., Matsuura, S., Niimi, M., Jin, T., Desyatkin, A. R., Kawamura, O., Hojita, M., Miyata, A. (2013). The effect of fertilizer and manure application on CH₄ and N₂O emissions rom managed grasslands in Japan. *Soil science and plant nutrition* 59: 69 – 86. doi: [10.1080/00380768.2012.733926](https://doi.org/10.1080/00380768.2012.733926)
311. Shrestha, R.K., La,l R., Rima,l B. (2013). Soil carbon fluxes and balances and soil properties of organically amended no-till corn production systems. *Geoderma* 197: 177 – 185. doi: [10.1016/j.geoderma.2013.01.005](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.01.005)
312. Skiba, U., Ball, B.C. (2002). The effect of soil texture and soil drainage onthe emissions of nitric oxide and nitrous oxide. *Soil. Use. Manag* 18: 56 – 60. doi: [10.1111/j.1475-2743.2002.tb00050.x](https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2002.tb00050.x)
313. Smith, K.A., Ball, T., Conen, F., Dobbie, K.E., Massheder, J., Rey, A. (2003). Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. *European Journal of Soil Science* 54: 779 – 791. doi: [10.1111/ejss.12539](https://doi.org/10.1111/ejss.12539)
314. SOED (State of the Environment and Development in the Mediterranean (2020). United Nations Environment Programme.
315. Song, C., Xu, X., Tian, H., Wang, Y. (2009). Ecosystem-atmosphere exchange of CH₄ and N₂O and ecosystem respiration in wetlands in the Sanjiang Plain, North-eastern China. *Global Change Biology* 15: 692 – 705. doi: [10.1111/j.1365-2486.2008.01821.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01821.x)
316. Sosulski, T., Srivastava, A. K., Ahrends, H. E., Smreczak, B., Szymanska, M. (2023). Carbon Storage Potential and Carbon Dioxide Emissions from Mineral-Fertilized and Manured Soil. *Soil. Appl. Sci* 13: e4620. doi: [10.3390/app13074620](https://doi.org/10.3390/app13074620)

317. Sosulski, T., Stepien, W., Was, A., Szymanska, M. (2020). N₂O and CO₂ Emissions from Bare Soil: Effect of Fertilizer Management. *Agriculture* 10: 602. doi: [10.3390/agriculture10120602](https://doi.org/10.3390/agriculture10120602)
318. Stille, B. (1938). Untersuchungen über Bedeutung der Rhizosphäre. *Arch. Mikrobiol* 9: 477 – 485.
319. Stockmann, U., Adams, M. A., Crawford, J. W., Field, D. J., Henakaarchchi, N., Jenkins, M., Minasny, B., Mcbratney, A. B., Courcelles, V.D.R.D., Singh, K., Wheeler, I., Lynette Abbott, Angers, D.A., Baldock, J., Bird, M., Brookes, P.C., Chenu, C., Jastrow, J.D., Lal, R., Lehmann, J., A.G. O'Donnell, Parton, W.J., Whitehead, D., Zimmermann, M. (2013). The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agric. Ecos. Environ* 164: 80 – 99.
320. Sun, Y., Zhang, X., Ding, Y., Chen, D., Qin, D., Zhai, P. (2021). Understanding human influence on climate change in China. *Nat. Sci. Rev* 9 (3): 2-16. doi: [10.1093/nsr/nwab113](https://doi.org/10.1093/nsr/nwab113)
321. Šestak, I., Mesić, M., Zgorelec, Ž., Perčin, A., Bilandžija, D. (2018). Land use change and soil fertility assessment in the vicinity of Zagreb landfill. *Sustainable Agricultural management and Informatics* 4 (1): 33-46. doi: [10.1504/IJSAMI.2018.092410](https://doi.org/10.1504/IJSAMI.2018.092410)
322. Šestak, I., Mihaljevski Boltek, L., mesić, M., Zgorelec, Ž., Perčin, A. (2019). Hyperspectral sensing of soil pH, total carbon and total nitrogen content based on linear and non-linear calibration methods 20(1): 504-523. doi: [10.5513/JCEA01/20.1.2158](https://doi.org/10.5513/JCEA01/20.1.2158)
323. Škorić A. (1990). Postanak, razvoj i sistematika tla. Fakultet poljoprivrednih znanosti sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
324. Škorić, A. (1982). Priručnik za pedološka istraživanja. Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb.
325. Tang, J., Bradford, M. A., Todd-Brown, K. (2019). Ecosystem Consequences of Soil Warming. Chapter 8- Temperature sensitivity of soil carbon. *Microbes, Vegetation, Fauna and Soil Biogeochemistry* 175 – 208. doi: [10.1016/B978-0-12-813493-1.00009-0](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813493-1.00009-0)
326. Thangarajan, R., Bolan, N. S., Tian, G., Naidu, R., Kunhikrishnan, A. (2013). Role of organic amendment application on greenhouse gas emission from soil. *Sci. Tot. Environ* 465: 72 – 96. doi: [10.1016/j.scitotenv.2013.01.031](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.01.031)
327. Thomas, C., Gleixner, G. (2013). Seasonal differences in tree species' influence on soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry* 66: 239-248. doi: [10.1016/j.soilbio.2013.05.018](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.05.018)
328. Thurgood, A., Singh, B., Jones, E., Barbour, M.M. (2014). Temperature sensitivity of soil and root respiration in contrasting soils. *Plant & Soil* 382: 253 – 267. doi: [10.1007/s11104-014-2159-9](https://doi.org/10.1007/s11104-014-2159-9)
329. Tian, G., Granato, T. C., Cox, A. E., Pietz, R. I., Carlson, C. R., Abedin, Z. (2009). Soil carbon sequestration resulting from long-term application of biosolids for land reclamation. *J. Environ. Qual* 38: 61 – 74. doi: [10.1155/2014/821768](https://doi.org/10.1155/2014/821768)
330. Tiwari, K.R., Nyborg, I.L.P., Sitaula, B.K., Paudel, G.S. (2008). Analysis of the sustainability of upland farming systems in the Middle Mountain region of Nepal. *Int. J. Agr. Sustain* 6: 289 – 306. doi: [10.3763/ijas.2008.0390](https://doi.org/10.3763/ijas.2008.0390)

331. Toman, I. (2020). Analiza klimatskih promjena na području Hrvatske u periodu od 1979. do 2020. Hrvatske u periodu od 1979. do 2020. temeljem podataka numeričke reanalize temeljem podataka numeričke reanalize. Meteo Adriatic, Zadar, Hrvatska.
332. Tomotsune, M.; Yoshitake, S.; Iimura, Y.; Kida, M.; Fujitake, N.; Koizumi, H.; Ohtsuka, T. (2018). Effects of soil temperature and tidal condition on variation in carbon dioxide flux from soil sediment in a subtropical mangrove forest. *J. Trop. Ecol* 34: 268–275. doi: [10.1017/S026646741800024X](https://doi.org/10.1017/S026646741800024X)
333. Tranvik, L.J., Downing, J.A., Cotner, J.B., Loiselle, S.A., Striegl, R.G., Ballatore, T.J., Dillon, Peter, Finlay, Kerri, Fortino, Kenneth, Knoll, L.B., Kortelainen, P.L., Kutser, Tiit, Larsen, Soren, Laurion, Isabelle, Leech, D.M., McCallister, S.L., McKnight, D.M., Melack, J.M., Overholt, Erin, Porter, J.A., Prairie, Yves, Renwick, W.H., Roland, Fabio, Sherman, B.S., Schindler, D.W., Sobek, Sebastian, Tremblay, Alain, Vanni, M.J., Verschoor, A.M., von Wachenfeldt, Eddie, Weyhenmeyer, G.A. (2009). Lakes and reservoirs as regulators of carbon cycling and climate: *Limnology and Oceanography*. 54: 2298 – 2314. doi: [10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2298](https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2298)
334. Triberti, L., Nastri, A., Giordani, G., Commellini, F. (2008). Can mineral and organic fertilization help sequester carbon dioxide in cropland? *European Journal of Agronomy* 29:13-20. doi: [10.1016/j.eja.2008.01.009](https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.01.009)
335. UNDP (Program Ujedinjenih naroda za razvoj) (2008). Dobra klima za promjene. Izvješće o društvenom razvoju, Hrvatska.
336. UNFCCC (Okvirna konvencija Ujedinjenih naroda o promjeni klime) (2018). Sedmo nacionalno izvješće i treće dvogodišnje izvješće Republike Hrvatske prema okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime. Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, Hrvatska
337. Ussiri, D. A. N., Lal, R. (2009). Long-term tillage effects on soil carbon storage and carbon dioxide emissions in continuous corn cropping system from an alfisol in Ohio. *Soil Till. Res* 104 (1): 39 – 47. doi: [10.1016/j.still.2008.11.008](https://doi.org/10.1016/j.still.2008.11.008)
338. Van Der Werf, A., Poorter, H., Lambers, H. (1994). Respiration as dependend on a species' inherent growth rate and the nitrogen supply to the plant. In J. Roy and E. Garnier (Eds.), *A whole-plant perspective of carbon-nitrogen interactions*. SPB Academic Publishing 61 – 77.
339. Verdi, L., Mancini, M., Napoli, M., Vivoli, R., Pardini, A., Orlandini, S., Marta, A.D. (2019). Soil carbon emissions from maize under different fertilization methods in an extremely dry summer in Italy. *Italian Journal of Agrometeorology* 2: 3–10. doi: [10.13128/ijam-648](https://doi.org/10.13128/ijam-648)
340. Vicentini, M.E.; Pinotti, C.R.; Yoshio Hirai, W.; de Moraes, M.L.T.; Montanari, R.; Filho, M.C.M.T.; Milori, D.M.B.P.; Junior, N.L.S.; Panosso, A.R. (2019). CO₂ emission and its relation to soil temperature, moisture, and O₂ absorption in the reforested areas of Cerrado biome, Central Brazil. *Plant Soil* 444: 193–211. doi: [10.1007/s11104-019-04262-z](https://doi.org/10.1007/s11104-019-04262-z)
341. Vitali Čepo, D. (2021). Klimatske promjene u Hrvatskoj. Available at: <https://www.znanost-klima.org/wp-content/uploads/2021/12/Klimatske-promjene-u-Hrvatskoj.pdf> [Pristupljeno: 10. ožujka 2023.].
342. Wagai, R., Brye, K. R., Gower, S. T., Norman, J. M., Bundy, L. G. (1998). Land use and environmental factors influencing soil surface CO₂ flux and microbial biomass in natural and managed ecosystems in southern Wisconsin, *Soil Biol. Biochem.* 30: 1501 – 1509. doi: [10.1016/S0038-0717\(98\)00041-8](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(98)00041-8)

343. Wan, S.Q., Luo, Y.Q. (2003). Substrate regulation of soil respiration in a tallgrass prairie: results of a clipping and shading experiment. *Global Biogeochemical Cycles* 17: 1054. doi: [10.1029/2002GB001971](https://doi.org/10.1029/2002GB001971)
344. Wang Z., Chen J., Mao S., Han Y. (2017). Comparison of greenhouse gas emissions of chemical fertilizer types in China's crop production. *J. Clean. Prod* 141: 1267 – 1274. doi: [10.1016/j.jclepro.2016.09.120](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.120)
345. Wang, C., Yang, X. (2018). Effect of chronic nitrogen fertilization on soil CO₂ flux in a temperate forest in North China: a 5-year nitrogen addition experiment. *Journal of Soils and Sediments* 18 (2): 506-516. doi: [10.1007/s11368-017-1760-y](https://doi.org/10.1007/s11368-017-1760-y)
346. Wang, X., Liu, L., Piao, S., Janssens, I.A., Tang, J., Liu, W. (2014). Soil respiration under climate warming: Differential response of heterotrophic and autotrophic respiration. *Global Change Biol.* 20: 3229 – 3237. doi: [10.1111/gcb.12620](https://doi.org/10.1111/gcb.12620)
347. Wang, Y., Zhang, X., and Huang, C. (2009). Spatial Variability of Soil Total Nitrogen and Soil Total Phosphorus under Different Land Uses in a Small Watershed on the Loess Plateau, China. *Geoderma* 150: 141–149. doi: [10.1016/j.geoderma.2009.01.021](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.01.021)
348. Wardle, D. A., Bardgett, R. D., Klironomos, J. N. (2004). Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science* 304 (5677): 1629 – 1633. doi: [10.1126/science.1094875](https://doi.org/10.1126/science.1094875)
349. Waremberg, F. R., Roumet, C., Lafont, F. (2003). Differences in rhizosphere carbon partitioning among plant species of different families. *Plant Soil* 256: 347 – 357.
350. Wattanaprat, K., Kanjanathanaset, K., Messig, I., Nopmalai, P. (2019). Correlation between vetiver root biomass with soil organic carbon and CO₂ emissions in agricultural areas of the southern part of Thailand. 7th International conference on Vetiver. Chiang Mai, Thailand, 2023.
351. Watts, D. B., Torbert, H. A., Feng, Y., Prior, S. A. (2010). Soil microbial community dynamics as influenced by composted dairy manure, soil properties, and landscape position. *Soil Science Society of America Journal* 74: 474-486. doi: [10.1097/SS.0b013e3181f7964f](https://doi.org/10.1097/SS.0b013e3181f7964f)
352. WBG (World Bank Group) (2021). Climate risk country profile Croatia.
353. Wei, X., Wang, F., Xiao, W., Ai, X., Zhang, B., Zhang, L., Ma, X. (2014). Study on rotating modulator imaging technique. *He Jishu/Nuclear Techniques* 37:2, 020401.
354. Wiant, H.V. (1967). Has the Contribution of Litter Decay to Forest. *J. For* 65: 408 – 409. doi: [10.1093/jof/65.6.408](https://doi.org/10.1093/jof/65.6.408)
355. Wibowo, H., Kasno, A. (2021). Soil organic carbon and total nitrogen dynamics in paddy soils on the Java Island, Indonesia. 1st International Conference on Sustainable Tropical Land Management 648, 012192.
356. Wilhelm, R. C., Pepe-Rannek, C., Weisenborn, P., Lipton, M., Buckley, D. H. (2021). Competitive exclusion and metabolic dependency among microorganisms structure the cellulose economy of an agricultural soil. *MBio* 12: 10-1128. doi: [10.1128/mbio.03099-20](https://doi.org/10.1128/mbio.03099-20)
357. Wilson, H.M., Al-Kaisi, M.M. (2008). Crop rotation and nitrogen fertilization effect on soil CO₂ emissions in central Iowa. *Appl. Soil. Ecol* 39: 264 – 270. doi: [10.1016/j.apsoil.2007.12.013](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2007.12.013)

358. Wiśniewski, P., Kistowski, M. (2020). Greenhouse Gas Emissions from Cultivation of Plants Used for Biofuel Production in Poland. *Atmosphere* 11: 394. doi: [10.3390/atmos11040394](https://doi.org/10.3390/atmos11040394)
359. Wood, T. E., Detto, M., Silver, W. L. (2013). Sensitivity of Soil Respiration to Variability in Soil Moisture and Temperature in a Humid Tropical Forest. *PLoS One*, 8: 80965. doi: [10.1371/journal.pone.0080965](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080965)
360. Wu, T. Y., Schoenau, J. J., Li, F. M., Qian, P. Y., Malhi, S. S., Shi, Y. C., Xue, F. L. (2004). Influence of cultivation and fertilization on total organic carbon and carbon fractions in soils from the Loess Plateau of China. *Soil. Till. Res* 77: 59 – 68. doi: [10.1016/j.still.2003.10.002](https://doi.org/10.1016/j.still.2003.10.002)
361. Wu, Y., Li, Y., Fu, X., Shen, J., Chen, D., Wang, Y., Liu, X., Xiao, R., Wei, W., Wu, J. (2018). Effect of controlled-release fertilizer on N₂O emissions and tea yield from a tea field in subtropical central China. *Environmental science and pollution research international* 25: 25580 – 25590. doi: [10.1007/s11356-018-2646-2](https://doi.org/10.1007/s11356-018-2646-2)
362. Xu, M., Qi, Y. (2001) Spatial and seasonal variations of Q₁₀ determined by soil respiration measurements at a Sierra Nevada forest. *Global Biogeochemical Cycles* 15: 687–696. doi: [10.1029/2000GB001365](https://doi.org/10.1029/2000GB001365)
363. Xu, M., Qi, Y. (2001.a). Soil surface CO₂ efflux and its variation in a young ponderosa pine plantation in the Sierra Nevada Mountains, California. *Glob. Chang. Biol* 7: 667 – 677. doi: [10.1046/j.1354-1013.2001.00435.x](https://doi.org/10.1046/j.1354-1013.2001.00435.x)
364. Xu, M., Shang, H. (2016). Contribution of soil respiration to the global carbon equation. *Journal of Plant Physiology* 203: 16 – 28. doi: [10.1016/j.jplph.2016.08.007](https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.08.007)
365. Xu, S., Qiao, S. (2018). Effect of different fertilization measures on soil CO₂ emissions of spring corn in Northeast China. *International Conference on biotechnology and bioengineering 1956*: 1 – 6. doi: [10.1063/1.5034270](https://doi.org/10.1063/1.5034270)
366. Yan, D., Wang, D., Yang, L. (2007). Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on labile organic matter fractions in a paddy soil. *Biol. Fertil. Soils* 44: 93 – 101. doi: [10.1007/s00374-007-0183-0](https://doi.org/10.1007/s00374-007-0183-0)
367. Yao, H., Bowman, D., Shi, W. (2011). Seasonal variations of soil microbial biomass and activity in warm-and cool-season turfgrass systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 43: 1536-1543. doi: [10.1016/j.soilbio.2011.03.031](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.03.031)
368. Yeates, G. W. (2003). Nematodes as soil indicators: Functional and biodiversity aspects. *Biology and Fertility of Soils* 37: 199–210. doi: [10.1007/s00374-003-0586-5](https://doi.org/10.1007/s00374-003-0586-5)
369. Yerli, C. (2023). CO₂ emission from soil irrigated with recycled wastewater at different levels and the relationships of emission with soil properties. *AÇÜ Orman Fak Derg* 24: 155-166. doi: [10.17474/artvinofd.1256742](https://doi.org/10.17474/artvinofd.1256742)
370. Yilmaz, G. (2019). Seasonal variations in soil CO₂ emissions under continuous field crop production in semi arid southeastern Turkey. *Applied ecology and environmental research*. 17: 6563 – 6579. doi: [10.15666/aeer/1703_65636579](https://doi.org/10.15666/aeer/1703_65636579)
371. Yuan, Z. H, Cui, Y., Yan, S. K. (2013). Effect of leaf litter quantity and type on forest soil fauna and biological quality. *Biodivers. Sci* 21: 206 – 213. doi: [10.3724/SP.J.1003.2013.08002](https://doi.org/10.3724/SP.J.1003.2013.08002)

372. Yuste, J.C.; Baldocchi, D.D.; Gershenson, A.; Goldstein, A.; Misson, L.; Wong, S. (2007). Microbial soil respiration and its dependency on carbon inputs, soil temperature and moisture. *Glob. Change Biol* 13: 2018–2035. doi: [10.1111/j.1365-2486.2007.01415.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01415.x)
373. Zamanian, K., zarebanadkouki, M., Kuzyakov, Y. (2018). Nitrogen fertilization rates CO₂ efflux from inorganic carbon: A global assessment. *Global Change Biology*. 24 (7): 2810 – 2817. doi: [10.1111/gcb.14148](https://doi.org/10.1111/gcb.14148)
374. Zaninović, K., Gajić-Čapka, M. (2008). Klimatske promjene i utjecaj na zdravlje. *Infektološki glasnik*, 28 (1): 5 – 15.
375. Zgorelec, Ž., Blažinkov, M., Mesić, M., Bilandžija, D., Perčin, A., Šestak, I. Ćaćić, M. (2017). *Gospodarenje tlom i klimatske promjene. Izvješće u sklopu projekta*, 2017.
376. Zgorelec, Ž., Mesić, M., Kisić, I., Bašić, F., Bilandžija, D., Jurišić, A., Šestak, I. (2015). Influence of Different Land Management on Climate Change. 2nd International Symposium for Agriculture and Food - ISAF 2015, Ohrid, Makedonija.
377. Zgorelec, Ž., Mesić, M., Vuković, I., Jurišić, A., Komesarović, B., Klaić, D., Kisić, I., Bašić, F., Sajko, K. (2011). Comparison of Methods for Soil Sampling and Carbon Content Determination. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 76 (1), 15-18.
378. Zhai, L., Liu, H., Zhang, J., Huang, J., Wang, B. (2011). Long-term application of organic manure and mineral fertilizer on N₂O and CO₂ emissions in a red soil from cultivated maize-wheat rotation in China. *Agricultural Sciences*. 1011: 1748 – 1757. doi: [10.1016/S1671-2927\(11\)60174-0](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(11)60174-0)
379. Zhang, L. H., Shao, H. B., Wang, B. C., Zhang, L. W., Qin, X. C. (2019). Effects of nitrogen and phosphorus on the production of carbon dioxide and nitrous oxide in salt-affected soils under different vegetation communities. *Atmospheric Environment* 204: 78 – 88. doi: [10.1016/j.atmosenv.2019.02.024](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.02.024)
380. Zhang, X.X., Yin, S., Li, Y.S., Zhuang, H.L., Li, C.H., Liu, C.J. (2014). Comparison of greenhouse gas emissions from rice paddy fields under different nitrogen fertilization loads in Chongming Island, Eastern China. *Sci. Tot. Environ* 472: 381 – 388. doi: [10.1016/j.scitotenv.2013.11.014](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.014)
381. Zhang, Y., Hou, W., Chi, M., Sun, Y., An, J., Yu, N., Zou, H. (2020). Simulating the effects of soil temperature and soil moisture on CO₂ and CH₄ emissions in rice straw-enriched paddy soil. *Catena* 194: 104677. doi: [10.1016/j.catena.2020.104677](https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104677)
382. Zhang, Y.; Liang, A.; Wang, Y.; Chen, X.; Zhang, S.; Jia, S.; Zhang, X.; Yang, X.; McLaughlin, N. (2022). Chapter 14—Climate change impacts on soil fertility in Chinese Mollisols. In *Sustainable Crop Productivity and Quality Under Climate Change*, 1st ed.; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 275–293.
383. Zhao, P., Pumpanen, J., Kang, S. (2020). Spatio-temporal variability and controls of soil respiration in a furrow-irrigated vineyard. *Soil Tillage Res* 196, 104424. doi: [10.1016/j.still.2019.104424](https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104424)
384. Zhao, W., Zhang, R., cao, H., Tan, W. (2019). Factor contribution to soil organic and inorganic carbon accumulation in the Loess Plateau: Structural equation modeling. *Geoderma* 352: 116 – 125. doi: [10.1016/j.geoderma.2019.06.005](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.06.005)
385. Zheng, Z. M., Yu, G. R., Fu, Y. L., Wang, Y. S., Sun, X. M. (2009). Temperature sensitivity of soil respiration is affected by prevailing climatic conditions and soil organic carbon

content: A trans-China based case study. *Soil Biology and Biochemistry* 41: 1531–1540. doi: [10.1016/j.soilbio.2009.04.013](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.04.013)

386. Zhou, G., Cao, W., Bai, J., Xu, C., Zeng, N., Gao, S., Rees, R. M. (2019). Non-additive responses of soil C and N to rice straw and hairy vetch (*Vicia villosa* Roth L.) mixtures in a paddy soil. *Plant and soil* 436: 229 – 244. doi: [10.1007/s11104-018-03926-6](https://doi.org/10.1007/s11104-018-03926-6)

387. Zhou, J., Jiang, X., Zhou, B., Zhao, B., Ma, M., Guan, D., Li, J., Chen, S., Cao, F., Shen, D., Qin, J. (2016). Thirty four years of nitrogen fertilization decreases fungal diversity and alters fungal community composition in black soil in northeast China. *Soil Biology and Biochemistry* 95, 135-143. doi: [10.1016/j.soilbio.2015.12.012](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.12.012)

388. Zhou, Z. H., Wang, C. K., Jin, Y. (2017). Stoichiometric responses of soil microflora to nutrient additions for two temperate forest soils. *Biology and Fertility of soils*. 53: 397 – 406. doi: [10.1007/s00374-017-1188-y](https://doi.org/10.1007/s00374-017-1188-y)

389. Zhu, Z., Bergamaschi, B., Bernknopf, R., Clow, D., Dye, D., Faulkner, S., Forney, W., Gleason, R., Hawbaker, T., Liu, J., Liu, S., Prisley, S., Reed, B., Reeves, M., Rollins, M., Sleeter, B., Sohl, T., Stackpoole, S., Stehman, S., Striegl, R., Wein, A., Zhu, Z. (2010). A Method for Assessing Carbon Stocks, Carbon Sequestration, and Greenhouse-Gas Fluxes in Ecosystems of the United States Under Present Conditions and Future Scenarios. *Scientific Investigations Report* 2010–5233.

ŽIVOTOPIS

Marija Galić rođena je 17.10.1990. godine u Zagrebu. 2015. godine diplomirala je na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu na temu „Utjecaj gnojidbe mineralnim dušikom na sadržaj nitrata u salati (*Lactuca sativa* L.)“ i stekla zvanje magistra inženjerka agroekologije (mag.ing.agr). Krajem 2015. godine zapošljava se na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu kao stručni suradnik na Zavodu za Opću proizvodnju bilja, gdje radi do kraja 2016. godine. Potom se zapošljava u tvrtki Aromara na radnom mjestu laboranta. 2017. godine ponovno se zapošljava na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu na Zavodu za Opću proizvodnju bilja kao asistent, te upisuje doktorski studij „Poljoprivredne znanosti“ na istoimenom fakultetu. Od 2017. godine zadužena je za stručne poslove u okviru znanstveno-istraživačkih i stručnih aktivnosti ustrojstvene jedinice, postavljanje i provedbu pokusa u laboratoriju Zavoda za opću proizvodnju bilja, prikupljanje uzoraka na terenu i rad na analizama, mjerenjima i ispitivanjima istih. Sudjeluje kao suradnik u nastavnom programu na modulima Agroklimatologija, Globalna ekologija, Poljoprivreda i okoliš te Agroclimatology and climate change. Aktivno je uključena u rad na nekoliko projekata. Također, autorica je 14 znanstvenih radova, 1 priručnika, 6 znanstvenih radova objavljenih u zbornicima skupova, 24 sažetka prezentiranih na međunarodnim i domaćim skupovima. Također je doprinjela izradi 47 elaborata. Znanstveni i stručni interes vezan je uz zaštitu okoliša. Članica je Hrvatskog tloznanstvenog društva. Dobitnica je nagrade za znanstvenu izvrsnost za mlade istraživače Agronomskog fakulteta u Zagrebu 2020. godine.

Znanstveni radovi u časopisima:

- **Galić, Marija**; Bilandžija, Darija; Zgorelec, Željka: Influence of Long-Term Soil Management Practices on Carbon Emissions from Corn (*Zea mays* L.) Production in Northeast Croatia // *Agronomy*, 13 (2023), 8; 2051, 15. doi: 10.3390/agronomy13082051
- Bilandžija, Darija; Zgorelec, Željka; **Galić, Marija**; Grubor, Mateja; Krička, Tajana; Zdunić, Zvonimir; Bilandžija, Nikola: Comparing the Grain Yields and Other Properties of Old and New Wheat Cultivars // *Agronomy*, 13 (2023); 2090, 12. doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy13082090>
- Bilandžija, Darija; Stuparić, Renato; **Galić, Marija**; Zgorelec, Željka; Leto, Josip; Bilandžija Nikola: Carbon Balance of Miscanthus Biomass from Rhizomes and Seedlings // *Agronomy*, 12 (2022), 6; 1426, 10. doi: agronomy12061426
- Tóth, Eszter; Kisić, Ivica; **Galić, Marija**; Telak, Leon; Brezinscak, Luka; Dugan, Ivan; Dencső, Márton; Gelybó, Györgyi; Bakacsi, Zsófia; Horel, Ágota; Bogunović, Igor: Spatial mapping of soil respiration using auxiliary variables. A small scale study // *Journal of Central European agriculture*, 22 (2021), 3; 657-668. doi: 10.5513/jcea01/22.3.3227
- Zgorelec, Željka; **Galić, Marija**; Kolman, Mateja; Mesić, Milan; Pehnek, Gordana: Nitrogen Oxide Soil Emission Measurements Using Passive Samplers and Static Chamber Method // *Kemija u industriji : časopis kemičara i tehnologa Hrvatske*, 70 (2021), 3-4; 153-162. doi: 10.15255/KUI.2020.057
- Zgorelec, Željka; Bilandžija, Nikola; Knez, Kristina; **Galić, Marija**; Žužul, Silva: Cadmium and Mercury phytostabilization from soil using *Miscanthus × giganteus* // *Scientific reports*, 10 (2020), 6685, 10. doi: 10.1038/s41598-020-63488-5

- **Galić, Marija**; Mesić, Milan; Zgorelec, Željka: Influence of Organic and Mineral Fertilization on Soil Greenhouse Gas Emissions. A Review // ACS - Agriculturae conspectus scientificus, 85 (2020), 1; 1-8
- Bogunović, Igor; Pereira, Paulo; **Galić, Marija**; Bilandžija, Darija; Kisić, Ivica: Tillage system and farmyard manure impact on soil physical properties, CO₂ emissions, and crop yield in an organic farm located in a Mediterranean environment (Croatia) // Environmental earth sciences, 79 (2020), 70, 11. doi: 10.1007/s12665-020-8813
- Bogunović, Igor; Andabaka, Željko; Stupić, Domagoj; Pereira, Paulo; **Galić, Marija**; Novak, Kristina; Telak, Leon Josip: Continuous grass coverage as a management practice in humid environment vineyards increases compaction and CO₂ emissions but does not modify must quality // Land degradation & development, 30 (2019), 18; 2347-2359. doi: 10.1002/ldr.3426
- **Galić, Marija**; Perčin, Aleksandra; Zgorelec, Željka; Kisić, Ivica: Evaluation of heavy metals accumulation potential of hemp (*Cannabis sativa* L.) // Journal of Central European agriculture, 20 (2019), 2; 700-711. doi: 10.5513/JCEA01/20.2.2201
- **Galić, Marija**; Bilandžija, Darija; Perčin, Aleksandra; Šestak, Ivana; Mesić, Milan; Blažinkov, Mihaela; Zgorelec, Željka: Effects of Agricultural Practices on Carbon Emission and Soil Health // Journal of sustainable development of energy, water and environment systems, 7 (2019), 3; 539-552. doi: 10.13044/j.sdewes.d7.0271
- **Galić, Marija**; Mesić, Milan; Perčin, Aleksandra; Šestak, Ivana; Zgorelec, Željka: Sulphur Balance in Agroecosystem // Bulgarian journal of soil science, 3 (2018), 2; 104-118
- **Galić, Marija**; Bogunović, Igor: Use of organic amendment from olive and wine industry in agricultural land : A review // ACS - Agriculturae conspectus scientificus, 83 (2018), 2; 123-129
- Bogunović, Igor; Bilandžija, Darija; Andabaka, Željko; Stupić, Domagoj; Rodrigo-Comino, Jesús; **Čačić, Marija**; Brezinščak, Luka; Maletić, Edi; Pereira, Paulo: Soil compaction under different management practices in a Croatian vineyard // Arabian Journal of Geosciences, 10 (2017), 340; 1-9. doi: 10.1007/s12517-017-3105-y

Znanstveni radovi u zbornicima skupova:

- **Galić, Marija**; Bilandžija, Darija; Reis, Ivan; Zgorelec, Željka: Soil fluxes of carbon dioxide in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) agroecosystem. 57. hrvatski i 17. međunarodni Simpozij agronoma, (2022.), 691-696.
- Poljak, Marija; Kisić, Ivica; Zgorelec, Željka; Šestak, Ivana; **Galić, Marija**; Kuharić, Željka; Jukić, Mirela; Galić, Antonija; Šikić, Sandra; Perčin, Aleksandra: Utjecaj fungicida i nagiba padine na prostornu akumulaciju bakra u poljoprivrednim tlima // Proceedings of 56th Croatian and 16th international Symposium on agriculture, (2021), 128-133.
- Bilandžija, Darija; **Galić, Marija**; Kisić, Ivica; Mesić, Milan; Bilandžija, Nikola; Zgorelec, Željka: Temporal variation of soil respiration under energy and arable crops // Agriculture in nature and environment protection / Jug, Danijel ; Ravlić, Marija (ur.). (2020.), 293-299.
- **Galić, Marija**; Bilandžija, Darija; Mesić, Milan; Perčin, Aleksandra; Zgorelec, Željka: Seasonal variability of soil respiration during maize vegetation // 55th Croatian & 15th International Symposium on Agriculture. (2020), 38-43

- **Galić, Marija**; Zgorelec, Željka; Bilandžija, Darija: Soil carbon dioxide emissions in winter wheat vegetation influenced by agro-ecological factors and fertilization // Agriculture in nature and environment protection / Jug, D. ; Brozović, B. (ur.). 2019. str. 181-187
- Šestak, Ivana; Zgorelec, Željka; Perčin, Aleksandra; Mesić, Milan; **Galić, Marija**: Prediction of soybean leaf nitrogen content using proximal field spectroscopy // Zbornik radova: 54. hrvatski i 14. međunarodni simpozij agronoma / Mioč, Boro ; Širić, Ivan (ur.). Zagreb: Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2019. str. 36-40

Sažeci u zbornicima skupova:

- Zgorelec, Željka; Vitezica, Lelja; **Galić, Marija**; Hrelja, Iva; Perčin, Aleksandra; Kisić, Ivica; Jakovljević, Ivana; Pehnac, Gordana: The quality of urban soils and their potential for use in Maksimirska Street in the city of Zagreb // 11th SYMPOSIUM WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION Book of Abstracts. Beograd: University of Belgrade Faculty of Agriculture, (2023.), 74-75
- Zgorelec, Željka; Pehnac, Gordana; Mesić, Milan; Perčin, Aleksandra; Šestak, Ivana; Bilandžija, Darija; **Galić, Marija**; Kolman, Matea: Nitrogen balance in agroecosystem - case study Potok, continental Croatia // International conference and 13th Croatian scientific and professional meeting "Air Protection 2023" : Book of Abstracts. Zagreb: Hrvatsko udruženje za zaštitu zraka (HUZZ), (2023.), 100-100
- **Galic, Marija**; Tupek, Anita Lucija; Zgorelec, Željka; Bilandžija, Nikola; Krička, Tajana; Bilandžija, Darija: Seasonal Variability of Soil Respiration Under Different Maize Hybrids // 1st International Scientific Conference „Agricultural Challenges to Climate Change“ Osijek, Hrvatska, 19.09.2023-22.09.2023
- Kisić, Ivica; Jurina, Dalibor; **Galić, Marija**; Bogunović, Igor; Perčin, Aleksandra; Ćorić, Radica; Dugan, Ivan: Učinci ugara i sideracije na fizikalne i kemijske značajke tla i prinos jarina // Zbornik sažetaka - 58. hrvatski i 18. Međunarodni skup agronoma / Carović-Stanko, Klaudija ; Širić, Ivan (ur.). Zagreb: Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2023. str. 25-26
- Kisić, Ivica; Jurina, Dalibor; **Galić, Marija**; Bogunović, Igor; Perčin, Aleksandra; Ćorić, Radica; Dugan, Ivan: Utjecaj ugara i zelene gnojidbe na značajke tla i prinos jarih kultura // International Summit on Renewable Energy (INSORE2023) & 58th Croatian & 18th International Symposium on Agriculture (SA2023) / Carović-Stanko, Klaudija ; Širić, Ivan (ur.). Zagreb: Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2023. str. 25-25
- Zgorelec, Zeljka; **Galić, Marija**; Perčin, Aleksandra; Kisić, Ivica; Bašić, Ferdo: Comparison of metal content determination methods in real agricultural soil samples - case study Podravina, Croatia // Book of Abstracts / Stamenkovska, Janeska Ivana (ur.). Skopje: Faculty of Agricultural Sciences and Food-Ss.Cyril and Methodius University in Skopje, 2022. str. 214-214
- Bilandžija, Darija; Zgorelec, Željka; **Galić, Marija**; Krička, Tajana; Bilandžija, Nikola: Soil Electrical Conductivity in Relation to Soil Microclimate and Soil Respiration under Wheat and Barley Land Covers // BOOK OF ABSTRACTS XIII International Scientific Agriculture Symposium "AGROSYM 2022". 2022. str. 448-448
- **Galić, Marija**; Zgorelec, Željka: Mjerenje emisija ugljikovog dioksida iz tla u polju soje (*Glycine max L.*) pod utjecajem temperature i vlažnosti tla // Dani doktorata biotehničkog područja 2022. 2022. str. 82-83

- Bilandžija, Darija; Arlović, Stella; **Galić, Marija**; Leto, Josip; Bilandžija, Nikola: Effect of ash application on some chemical soil properties under the energy crop *Miscanthus x giganteus* // "Soil degradation – challenge in agricultural production" / Popović, Brigita ; Zebec, Vladimir ; Perčin, Aleksandra (ur.). Sveti Martin na Muri: Hrvatsko tloznanstveno društvo, 2022. str. 15-15
- Zgorelec, Željka; Abramović, Radovan; Kisić, Ivica; **Galić, Marija**; Hrelja, Iva; Šprem, Nikica: Sadržaj i prostorna varijabilnost metala u tlu streljane Luže // Knjiga Sažetaka, Degradacija tla – izazov za poljoprivrednu proizvodnju / Popović, Brigita ; Zebec, Vladimir ; Perčin, Aleksandra (ur.). Osijek: Hrvatsko tloznanstveno društvo, 2022. str. 93-94
- **Galić, Marija**; Hodalić, Tomislava; Kolman, Mateja; Zgorelec, Željka: Measurement of carbon dioxide and nitrogen oxide emissions from triticale field in Croatia // " Degradacija tla – izazov za poljoprivrednu proizvodnju". 2022. str. 30-32
- Bilandžija, Darija; Zgorelec, Željka; **Galić, Marija**; Krička, Tajana; Bilandžija, Nikola: Biomass and Carbon Sequestration Potential of Winter Wheat and Barley Agroecosystems in Continental Croatia // Poster book of abstracts of World Congress of Soil Science 2022. 2022. str. 221-221
- Bilandžija, Darija; Brezinščak, Luka; **Galić, Marija**; Zgorelec, Željka, Bogunović, Igor: Carbon and nitrogen gains and losses of soybean biomass / Majić, Ivana ; Antunović, Zvonko (ur.). Fakultet agrobiotehničkih znanosti Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, 2022. str. 343-343
- Darija Bilandžija; **Marija Galić**; Željka Zgorelec: Tlo koje diše, zrak koji udišemo // Meteorološki izazovi - Zrak koji udišemo, zrak koji prognoziramo. Zagreb, 2022. str. 60-60
- Bilandžija, Darija; **Galić, Marija**; Zgorelec, Željka: Soil respiration under different agricultural land use types in Croatia // EGU General Assembly 2021. 2021. str. 1-1 doi: 10.5194/egusphere-egu21-15734
- Bilandžija, Darija; Zgorelec, Željka; **Galić, Marija**: Soil respiration under organic and conventional systems // ENOAT 2021 Maribor. 2021
- Zgorelec, Željka; Rinkovec, Jasmina; Pehnec, Gordana; Mesić, Milan; Kisić, Ivica; Bogunović, Igor; Perčin, Aleksandra; Šestak, Ivana; Bilandžija, Darija; **Galić, Marija**; Hrelja, Iva: Koncentracije Pt, Pd i Rh u zraku, tlu i vegetaciji grada Zagreba // Zaštita zraka 2021 / Pehnec, Gordana (ur.). Zagreb: Hrvatsko udruženje za zaštitu zraka (HUZZ), 2021. str. 80-81
- Zgorelec, Željka; Pehnec, Gordana; Kolman, Mateja; **Galić, Marija**; Mesić, Milan: Is it possible to measure nitrogen oxides soil emission combining passive samplers and static chambers method? // <https://eurosoil-congress.com/> / ECSSS, The European Confederation of Soil Science Societies (ur.). online, 2021. str. PO086-PO086
- **Galić, Marija**; Mesić, Milan; Zgorelec, Željka: Differential responses of soil carbon dioxide emissions to fertilization during soybean vegetation // "CASEE universities as laboratories for new paradigms in life sciences and related disciplines". 2021. str. 45-45
- Toth, Eszter; Dencső, Márton; Gelybó, Györgyi; Mészáros, Janos; Bakacsi, Zsófia; Horel, Ágota; Telak, Leon Josip; **Galic, Marija**; Kisić, Ivica; Bogunovic, Igor: Spatial heterogeneity of CO₂ emission in Hungarian and Croatian arable fields – preliminary results // EGU General Assembly 2020. Beč, 2020. doi: 10.5194/egusphere-egu2020-19704

- Zgorelec, Željka; Bilandžija, Nikola; Knez, Kristina; **Galić, Marija**; Žužul, Silva: Cd and Hg phytoremediation from soil using *Miscanthus x giganteus* // Book of Abstracts / Orlović, Saša (ur.). Novi Sad, 2018. str. 34-34
- **Ćaćić, Marija**; Zgorelec, Željka; Bilandžija, Darija; Perčin, Aleksandra; Mesić, Milan; Blažinkov, Mihaela: Does mineral and organic fertilization affect CO₂ emissions and soil quality? / Rozman, Vlatka ; Antunović, Zvonko (ur.). 2018. str. 10-10
- Mesić, Milan; Zgorelec, Željka; Perčin, Aleksandra; **Ćaćić, Marija**: Utjecaj dušične gnojidbe na sadržaj mineralnog dušika u drenskoj vodi // Okrugli stol Hidrotehničke melioracije u Hrvatskoj - stanje i izazovi "Hidrotehničke melioracije u Hrvatskoj-stanje i izazovi" : zbornik radova / Biondić, Danko ; Holjević, Danko ; Vizner, Marija (ur.). Zagreb: Hrvatske vode, 2016. str. 297-305
- **Ćaćić, Marija**; Perčin, Aleksandra; Zgorelec, Željka; Mesić, Milan: Chromatography Separation and Detection of Nitrate ions in Lettuce (*Lactuca sativa*) // 16th International Chromatography School / Ašperger, Danijela ; Bolanča, Tomislav ; Ukić Šime (ur.). Zagreb: Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, 2016. str. 10-11