Sveučilište u Zagrebu

AGRONOMSKI FAKULTET

Dalibor Jurina

PROMJENE FIZIKALNO KEMIJSKIH ZNAČAJKI TLA I PRINOSI JARINA POD UTJECAJEM UGARA I ZELENE GNOJIDBE

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2026.



University of Zagreb

FACULTY OF AGRICULTURE

Dalibor Jurina

CHANGES IN THE PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF SOIL AND YIELDS OF SPRING CROPS UNDER THE INFLUENCE OF FALLOW AND GREEN MANURE

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2026.



Sveučilište u Zagrebu

AGRONOMSKI FAKULTET

Dalibor Jurina

PROMJENE FIZIKALNO KEMIJSKIH ZNAČAJKI TLA I PRINOSI JARINA POD UTJECAJEM UGARA I ZELENE GNOJIDBE

DOKTORSKI RAD

Mentor:

prof. dr. sc. Ivica Kisić

Zagreb, 2026.



University of Zagreb

FACULTY OF AGRICULTURE

Dalibor Jurina

CHANGES IN THE PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF SOIL AND YIELDS OF SPRING CROPS UNDER THE INFLUENCE OF FALLOW AND GREEN MANURE

DOCTORAL THESIS

Supervisor:

Prof. Ivica Kisić, PhD

Zagreb, 2026.

Bibliografski podaci:

- Znanstveno područje: Biotehničko područje
- Znanstveno polje: Poljoprivreda
- Institucija: Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet
- Voditelj doktorskog rada: prof. dr. sc. Ivica Kisić
- Broj stranica: 117
- Broj slika: 29
- Broj grafikona: 48
- Broj tablica: 12
- Broj priloga: 0
- Broj literaturnih referenci: 144
- Datum obrane doktorskog rada:
- Sastav povjerenstva za obranu doktorskog rada:
    1. Izv. prof. dr. sc. Igor Bogunović
    2. Prof. dr. sc. Danijel Jug
    3. Prof. dr. sc. Dubravko Filipović

Rad je pohranjen u:

Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu, Ulica Hrvatske bratske zajednice 4 p.p. 550, 10.000 Zagreb, Knjižnici Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog Fakulteta, Svetošimunska cesta 25, 10.000 Zagreb.

Tema rada prihvaćena je na sjednici Fakultetskog vijeća Agronomskog Fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, održanoj dana 14. rujna 2021., te odobrena na 4. redovitoj elektronskoj sjednici Senata Sveučilišta u Zagrebu, održanoj dana 14. prosinca 2021. u 353. akademskoj godini (2021./2022.).

IZJAVA O IZVORNOSTI

Ja, **Dalibor Jurina**, izjavljujem da sam samostalno izradio doktorski rad pod naslovom:

PROMJENE FIZIKALNO KEMIJSKIH ZNAČAJKI TLA I PRINOSI JARINA POD UTJECAJEM UGARA I ZELENE GNOJIDBE

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedini autor ovoga doktorskog rada;
- da je doktorski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi istog nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni;
- da sam upoznata/upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____

_____

Potpis doktoranda

Ocjena doktorskog rada

Disertacija je obranjena na Sveučilištu u Zagrebu Agronomskom fakultetu, dana

_____ pred povjerenstvom u sastavu:

1. Izv. prof. dr. sc. Igor Bogunović, _____

Izvanredni profesor Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta

2. Prof. dr. sc. Danijel Jug, _____

Redoviti profesor Sveučilišta J. J. Strossmayer u Osijeku Fakultet agrobiotehničkih znanosti u Osijeku

Redoviti profesor Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta

3. Prof. dr. sc. Dubravko Filipović, _____

Redoviti profesor Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta

Informacije o mentoru

Prof. dr. sc. Ivica Kisić je redoviti profesor u trajnom zvanju na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Uključen je u znanstvena i stručna istraživanja o praksama gospodarenja tlom svih oblika poljoprivrede, strategijama degradacije i remedijacije tla, te obradi i zaštiti tla.

Prof. dr. sc. Ivica Kisić u Web of Science bazi ima ukupno objavljenih 89 radova, h-indeks 18, radovi su ukupno citirani 950 puta. Objavio je znanstvene i stručne radove s preko 400 znanstvenika iz Austrije, Australije, Bosne i Hercegovine, Brazila, Crne Gore, Češke, Finske, Francuske, Hrvatske, Italije, Japana, Kine, Mađarske, Makedonije, Njemačke, Rumunjske, Slovačke, Slovenije, Srbije, Španjolske, USA i Velike Britanije. Do sada je kao autor ili koautor objavio 15 knjiga, također je autor ili koautor 22 poglavlja u znanstvenim i stručnim knjigama. Sudjelovao je u izradi 232 znanstvenih radova iz skupina a1, a2 i a3, kao i 313 stručna rada, studije odnosno ekspertize koje se odnose na problematiku gospodarenja, zaštite i sanacije tla. Cjelokupan popis svih radova vidljiv je u Hrvatskoj znanstvenoj bibliografskoj bazi na stranicama (https://www.croris.hr/crosbi/searchByContext/2/10256).

Pri Hrvatskoj akademiji znanosti i umjetnosti obnaša funkciju pročelnika Sekcije za tlo, Znanstvenog vijeća za zaštitu prirode i okoliša, te tajnika Znanstvenog vijeća za poljoprivredu i šumarstvo. Trenutno je predsjednik Akademije poljoprivrednih znanosti.

U razdoblju 2004. - 2007. godina sudjelovao je u EU FP6 projektu: Reintegration of Coal Ash Disposal Sites and Mitigation of Pollution int he West Balkan Area. Također u razdoblju 2005. - 2008. godina bio je voditelj EU LIFE projekta: Development of the Croatian Soil Monitoring Programme with a Pilot project, gdje je bio glavni istraživač na izradi monitoringa onečišćenih tala. Od međunarodnih projekata sudjelovao je od 2008. do 2014. godine kao koordinator bilateralnog projekta ispred Sveučilišta u Zagrebu, Sveučilišta u Rijeci i Sveučilišta u Splitu: Project on Risk identification and land-use planning for disaster mitigation of landslides and floods in Croatia. Nositelj projekta su bili Japan International Cooperation Agency, Japan Science and Technology Agency te Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske. Kao znanstveni savjetnik sudjelovao je u međunarodnom projektu: Data Flow System and Indicators to Enchance Integrated Management of Global Environmental Issues in Croatia koji se provodio od 2009. do 2011. godine. U periodu od 2018. do 2022. bio je voditelj znanstvenog projekta: „Utjecaj požara otvorenog prostora na tlo u vodu“.

U dosadašnjoj znanstvenoj karijeri sudjelovao je u 9 različitih znanstvenih višegodišnjih projekata koji su se provodili pri Ministarstvu znanosti, obrazovanja i mladih RH odnosno Hrvatskoj zakladi za znanost i 2 VIP projekta pri Ministarstvu poljoprivrede. U razdoblju 2021. - 2024. bio je član ICA (Interfaculty Committee Agraria) Odbora koji predstavlja pedesetak visokoobrazovnih institucija članica Udruženja europskih sveučilišta u području bioloških znanosti (Association for European Life Science Universities). Prof. dr. sc. Ivica Kisić bio je izabran na trogodišnje mandatno razdoblje kao predstavnik regije jugoistočne Europe i CIS zemalja (Albanija, BiH, Hrvatska, Kosovo, Sjeverna Makedonija, Crna Gora, Srbija, Slovenija, Armenija, Azerbajdžan, Bjelorusija, Kazahstan, Kirgistan, Moldavija, Tadžikistan, Turkmenistan, Ukrajina, Rusija i Uzbekistan). U razdoblju 2024. - 2028. član je CASEE Odbora Udruženja europskih sveučilišta u području bioloških znanosti. Član je Hrvatsko - kineskoga zajedničkog OBOR (One Belt One Road) laboratorija za biološku raznolikost i usluge ekosustava.

Do sada je bio voditelj 8 doktorskih i dva magistarska rada, 74 diplomska odnosno završna rada na Agronomskom fakultetu i 8 završnih radova na poslijediplomskim specijalističkim studijima Ekoinženjerstvo i Upravljanje gradom. Za izvrsnost u nastavi studenti Agronomskog fakulteta ocijenili su ga najboljim profesorom u akademskim godinama 2018./19., odnosno 2019./2020., te 2020./21.

SAŽETAK

Konvcencionalna poljoprivreda je uslijed pretjerane upotrebe pesticida i mineralnih gnojiva, zapostavljanja stočarstva odnosno napuštanje primjene organskih gnojiva, sve užeg plodoreda uzrokovala smanjenje kvalitete i zdravlja tla što se manifestira degradacijom fizikalnih i kemijskih osobina tla. Ugar kao jedna od najstarijih agrotehničkih mjera za poboljšanje kvalitete tla, pozitivno utječe na mikrobiološku aktivnost tla, a samim time i na fizikalna i kemijska svojstva tla. Zelena gnojidba, odnosno uzgoj siderata između glavnih kultura kao interpoliranog usjeva također pozitivno utječe na poboljšanje kvalitete i zdravlja tla. U trogodišnjem istraživanju koje je provedeno na OPG-u Dalibor Jurina u Velikim Zdencima, u tri vegetacijske sezone od 2020. do 2023. godina, uključen je tzv. pravi ili jalovi ugar (tlo na odmoru - ostavljeno bez sjetve usjeva), zeleni ugar (tlo na odmoru zasijano sideratom) i sjetva glavnih usjeva (kukuruz, soja, krumpir) sa i bez zelene gnojidbe. Istraživanje je provedeno prema potpuno slučajnom rasporedu, na parcelama veličine 10 m x 35 m u 4 linijska ponavljanja. U radu su promatrane fizikalne i kemijske značajke tla i prinos uzgajanih usjeva. Od fizikalnih značajki tla istraživala se volumna gustoća tla (Stv) i gustoća čvrste faze tla (Stp), a od kemijskih osobina tla promatrala se reakcija tla (pH u KCl-u), sadržaj organske tvari (%), ukupni ugljik (TC), ukupni dušik (TN), odnos ugljika i dušika (C/N), fiziološki aktivni fosfor (P_2O_5) i fiziološki aktivni kalij (K_2O). Pratili su se prinosi usjeva sa sideratom i bez siderata, i to kukuruza (Z*ea mays* L) - 2021. godine, soje (*Glycine max* (L.) Merr.) - 2022. godine i krumpira (*Solanum tuberosum* L.) - 2023. godine. Početno stanje tla determirano je u listopadu 2020. godine, a u svakoj vegetacijskoj godini uzorkovanje je provedeno u proljeće i jesen na dubini od 0 do 20 cm. Utvrđene su značajne promjene fizikalno-kemijskih svojstava tla, posebice u sustavima sa sideracijom koji su pokazali povoljnije vrijednosti volumne gustoće, veću akumulaciju organske tvari i dušika te uravnoteženiji C/N odnos. U promatranom razdoblju nisu zabilježene značajne razlike u prinosima istraživanih kultura sa sideracijom ili bez sideracije. Prinos je kompleksna varijabla koja ovisi o mnoštvu čimbenika, pa su stoga važnije uočene promjene u fizikalnim i kemijskim osobinama tla, što je i bio glavni cilj istraživanja.

Ključne riječi: ugar, usjev za zelenu gnojidbu, kukuruz, soja, krumpir, klimatske prilike

CHANGES IN THE PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF SOIL AND YIELDS OF SPRING CROPS UNDER THE INFLUENCE OF FALLOW AND GREEN MANURE

EXTENDED ABSTRACT

Conventional agriculture, characterized by intensive use of chemical inputs, abandonment of livestock farming, highly specialized production, and minimal human labor, has led to a decline in soil fertility through the degradation of its physical and chemical properties. Among traditional agrotechnical practices, fallow represents one of the oldest method for improving soil fertility, positively affecting soil microbiological activity and, consequently, its physical and chemical properties. Similarly, green manuring, which involves sowing short-vegetation cover crops (siderates) between main crops, improves soil quality by adding organic matter, loosening the soil through root activity, and, in the case of legumes (*Fabaceae* or *Leguminosae*), fixing atmospheric nitrogen, thereby increasing soil nitrogen content after incorporation.

This three-year study was conducted on the family farm (OPG) Dalibor Jurina in Veliki Zdenci, Croatia, from 2020. to 2023. The experimental design included four treatments: fallow (soil left unsown), green fallow (soil without main crops but sown with cover crops), main crop cultivation (maize, soybean, potato) without siderates, and main crop cultivation with intercropped siderates. Physical and chemical soil properties, as well as crop yields, were monitored. Initial soil sampling was conducted in autumn 2020., followed by spring and autumn sampling in 2021., 2022., and 2023., resulting in a total of seven sampling events. Physical properties analyzed included bulk density (ρ_v) and particle density ($\rho_č$), while chemical properties included soil pH (in KCl), organic matter content (%), total carbon (TC), total nitrogen (TN), C/N ratio, plant-available phosphorus (P_2O_5), and plant-available potassium (K_2O). Crop yields of maize (*Zea mays* L, 2021.), soybean (*Glycine max,* L Merr., 2022), and potato (*Solanum tuberosum* L, 2023.) were also recorded. The experiment was conducted on plots of 10 × 35 m with four replications. Data were analyzed using Statistica 12.0 (StatSoft Inc.), and statistical significance was determined at $p < 0.05$.

Results from the first year showed that cropping management system, including green manuring, affected certain physico-chemical soil properties but not maize yield. The most pronounced changes were observed in autumn, particularly in fallow and green manure systems, where higher organic matter and phosphorus accumulation were recorded. Crop-based systems had lower TC and TN values, while the C/N ratio remained relatively stable across seasons with minor variations in spring. Plant-available potassium varied within seasons, bulk density increased in autumn, and soil pH remained stable. These findings indicate that although short-term changes in soil fertility occur, maize yield may not immediately respond, especially under unfavorable climatic conditions such as those recorded in 2021. Long-term use of tillage with green manure may improve the preservation of organic matter, phosphorus, and pH stability, supporting sustainable maize production.

In the second year, measurable changes in physico-chemical soil properties were observed across tillage, with or without green manure, but no statistically significant differences in soybean yield were recorded. Fallow and fallow + green manure systems had a more favorable effect on organic matter, TC, TN, P_2O_5, and K_2O, while crop-based systems often showed lower values, especially in autumn. C/N

ratios and soil pH remained stable across seasons, whereas bulk density was higher in crop and crop + green manure systems. Extreme climatic conditions in 2022., characterized by summer drought and excessive rainfall in September, likely reduced the potential impact of soil property changes on soybean yield.

In the third year, bulk density continued to vary within seasons, with higher values in crop and crop + green manure systems, while particle density and soil pH remained largely stable with minor seasonal fluctuations. Fallow + green manure systems positively affected organic matter and total carbon, whereas crop-based systems consistently showed lower values. Total nitrogen increased in most systems during autumn, with variations in C/N ratio indicating different mineralization dynamics. Plant - available phosphorus remained stable, except for lower values in the crop + green manure system in autumn, while fallow and fallow + green manure consistently exhibited higher potassium levels. These results emphasize the importance of green manuring in maintaining soil organic matter and nutrient availability.

Overall, the results of the three-year study (2021. - 2023.) showed that green maniring, including green manuring, significantly influenced physico-chemical soil properties but did not result in statistically significant differences in maize, soybean, or potato yields. Bulk density varied within seasons, while particle density remained stable. Green manure systems increased organic matter, total carbon, and nitrogen contents, and promoted more balanced C/N ratios, indicating improved organic matter accumulation and nutrient cycling. However, higher soil fertility did not translate into increased crop yields, primarily due to extreme climatic conditions, including drought in 2021. and 2022. and excessive rainfall in 2023. These findings highlight the critical role of weather conditions in determining yields, which may outweigh the effects of tillage systems and green manuring.

Keywords: fallow, green manure, corn, soybeans, potatoes, climatic conditions

SADRŽAJ

1. UVOD 1
1.1. Hipoteze i ciljevi istraživanja 4
2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA 5
3. MATERIJAL I METODE RADA 19
3.1. Lokacija istraživanja, uzorkovanje tla i korištene analitičke metode 19
3.2. Nulta godina istraživanja (2020./21.) – sijanje siderata 21
3.3. Primijenjeni tretmani 23
3.4. Prva godina istraživanja (2021.) - kukuruz 25
3.5. Druga godina istraživanja (2022.) - soja 27
3.6. Treća godina istraživanja (2023.) - krumpir 29
3.7. Fizikalne i kemijske analize uzoraka tla 31
3.8. Statistička obrada podataka 31
4. KLIMATSKE ZNAČAJKE 32
4.1. Klimatske značajke 2021. godine 32
4.2. Klimatske značajke 2022. godine 37
4.3. Klimatske značajke 2023. godine 42
5. REZULTATI 47
5.1. Nulta godina istraživanja (2020.) 47
5.1.1. Fizikalne značajke tla 47
5.1.1.1. Volumna gustoća tla 47
5.1.1.2. Gustoća čvrste faze tla 48
5.1.2. Kemijske značajke tla 49
5.1.2.1. Reakcija tla 49
5.1.2.2. Sadržaj organske tvari u tlu 50
5.1.2.3. Ukupni ugljik 51
5.1.2.4. Ukupni dušik 52
5.1.2.5. C/N odnos 53
5.1.2.6. Biljci pristupačan fosfor 54
5.1.2.7. Biljci pristupačan kalij 55
5.2. Prva godina istraživanja (2021.) 56
5.2.1. Fizikalne osobine tla 56
5.2.1.1. Volumna gustoća 56
5.2.1.2. Gustoća čvrste faze tla 57
5.2.2. Kemijske osobine tla 58
5.2.2.1. Reakcija tla 58
5.2.2.2. Sadržaj organske tvari 59
5.2.2.3. Ukupni ugljik 60
5.2.2.4. Ukupni dušik 61

5.2.2.5. C/N odnos 62
5.2.2.6. Biljci pristupačan fosfor....63
5.2.2.7. Biljci pristupačan kalij 64
5.2.2.8. Prinos zrna kukuruza....65
5.3. Druga godina istraživanja (2022.) 66
5.3.1. Fizikalne značajke tla 66
5.3.1.1. Volumna gustoća....66
5.3.1.2. Gustoća čvrste faze....67
5.3.2. Kemijske značajke tla....68
5.3.2.1. Reakcija tla....68
5.3.2.2. Sadržaj organske tvari....69
5.3.2.3. Ukupni ugljik....70
5.3.2.4. Ukupni dušik....71
5.3.2.5. C/N odnos 72
5.3.2.6. Biljci pristupačan fosfor....73
5.3.2.7. Biljci pristupačan kalij 74
5.3.2.8. Prinos sjemena soje 75
5.4. Treća godina istraživanja (2023.) 76
5.4.1. Fizikalne značajke tla 76
5.4.1.1. Volumna gustoća....76
5.4.1.2. Gustoća čvrste faze....77
5.4.2. Kemijske značajke tla....78
5.4.2.1. Reakcija tla....78
5.4.2.2. Sadržaj organske tvari....79
5.4.2.3. Ukupni ugljik....80
5.4.2.4. Ukupni dušik....81
5.4.2.5. C/N odnos 82
5.4.2.6. Biljci pristupačan fosfor....83
5.4.2.7. Biljci pristupačan kalij 84
5.4.2.8. Prirod krumpira....85
6. RASPRAVA 86
7. ZAKLJUČAK 97
7.1. EVALUACIJA POSTAVLJENIH HIPOTEZA....99
7.2. EVALUACIJA OSTVARENJA CILJEVA ISTRAŽIVANJA....100
8. POPIS LITERATURE 102
9. ŽIVOTOPIS....117

POPIS KRATICA

Stv ili ρ_v	volumna gustoća tla
Stp ili $\rho_č$	gustoća čvrste faze tla
pH u KCl	reakcija tla mjerena u otopini kalijevog klorida
TC	ukupni ugljik
TN	ukupni dušik
C/N	odnos ugljika i dušika
P_2O_5	biljci pristupačan fosfor
K_2O	biljci pristupačan kalij
DTS	djetelinsko-travne smjese
SD	standardna derivacija

POPIS TABLICA:

Tablica 1. Srednje dnevne temperature za Daruvar tijekom 2021. godine.....33
Tablica 2. Usporedba srednjih mjesečnih temperatura u razdoblju tridesetogodišnjem razdoblju (1991.- 2020.) i 2021. godine 33
Tablica 3. Pregled dnevnih oborina za Daruvar tijekom 2021. godine 35
Tablica 4. Usporedba mjesečnih oborina u tridesetogodišnjem razdoblju (1991.- 2020.) sa 2021. godinom 35
Tablica 5. Srednje dnevne temperature za Daruvar tijekom 2022. godine.....37
Tablica 6. Usporedba srednjih mjesečnih temperatura u razdoblju tridesetogodišnjem razdoblju (1991.-2020.) i 2022. godine 38
Tablica 7. Pregled dnevnih oborina za Daruvar tijekom 2022. godine 40
Tablica 8. Usporedba mjesečnih oborina u tridesetogodišnjem razdoblju (1991.- 2020.) sa 2022. godinom 40
Tablica 9. Srednje dnevne temperature za Daruvar tijekom 2023. godine.....42
Tablica 10. Usporedba srednjih mjesečnih temperatura u tridesetogodišnjem razdoblju (1991. - 2020.) i 2023. godine.....43
Tablica 11. Pregled dnevnih oborina za Daruvar tijekom 2023. godine 44
Tablica 12. Usporedba mjesečnih oborina u tridesetogodišnjem razdoblju (1991.-2020.) s 2023. godinom 45

POPIS GRAFIKONA:

Grafikon 1. Odstupanje srednjih mjesečnih temperatura u 2021. godini od tridesetogodišnjeg prosjeka (1991.-2020.) 34
Grafikon 2. Odstupanje srednjih mjesečnih oborina u 2021. godini 36
Grafikon 3. Walterov klimadijagram za Daruvar za 2021.godinu.....36
Grafikon 4. Odstupanje srednjih mjesečnih temperatura u 2022. godini od tridesetogodišnjeg prosjeka (1991.-2020.) 39
Grafikon 5. Odstupanje srednjih mjesečnih oborina u 2022. godini od tridesetogodišnjeg prosjeka (1991.- 2020.) 41
Grafikon 6. Walterov klimadijagram za Daruvar za 2022.godinu.....41
Grafikon 7. Odstupanje srednjih mjesečnih temperatura u 2023. godini od tridesetogodišnjeg prosjeka (1991. – 2020.).....43
Grafikon 8. Odstupanje srednjih mjesečnih oborina u 2023. godini od tridesetogodišnjeg prosjeka (1991.- 2020.) 45
Grafikon 9. Walterov klimadijagram za Daruvar za 2023.godinu.....46
Grafikon 10. Volumna gustoća u nultoj godini istraživanja. 47
Grafikon 11. Gustoća čvrste faze u nultoj godini istraživanja. 48
Grafikon 12. Reakcija tla u nultoj godini istraživanja. 49
Grafikon 13. Sadržaj organske tvari u tlu u nultoj godini istraživanja. 50
Grafikon 14. Ukupni ugljik u nultoj godini istraživanja. 51
Grafikon 15. Ukupni dušik u nultoj godini istraživanja. 52
Grafikon 16. C/N odnos u nultoj godini istraživanja. 53
Grafikon 17. Biljci pristupačan fosfor u nultoj godini istraživanja. 54
Grafikon 18. Biljci pristupačan kalij u nultoj godini istraživanja.....55
Grafikon 19. Volumna gustoća u 2021. godini. 56
Grafikon 20. Gustoća čvrste faze tla u 2021. godini. 57
Grafikon 21. Reakcija tla u 2021. godini. 58
Grafikon 22. Sadržaj organske tvari u 2021. godini. 59
Grafikon 23. Ukupni ugljik u 2021. godini. 60
Grafikon 24. Ukupni dušik u 2021. godini. 61
Grafikon 25. C/N odnos u 2021. godini.....62
Grafikon 26. Biljci pristupačan fosfor u 2021. godini. 63
Grafikon 27. Biljci pristupačan kalij u 2021. godini. 64

Grafikon 28. Prinos kukuruza u 2021. godini. 65
Grafikon 29. Volumna gustoća tla u 2022. godini. 66
Grafikon 30. Gustoća čvrste faze u 2022. godini. 67
Grafikon 31. Reakcija tla u 2022. godini. 68
Grafikon 32. Sadržaj organske tvari u 2022. godini. 69
Grafikon 33. Ukupni ugljik u 2022. godini. 70
Grafikon 34. Ukupni dušik u 2022. godini. 71
Grafikon 35. C/N odnos u 2022. godini. 72
Grafikon 36. Biljci pristupačan fosfor u 2022. godini. 73
Grafikon 37. Biljci pristupačan kalij u 2022. godini. 74
Grafikon 38. Prinos sjemena soje u 2022. godini. 75
Grafikon 39. Volumna gustoća tla u 2023. godini. 76
Grafikon 40. Gustoće čvrste faze u 2023. godini. 77
Grafikon 41. Reakcija tla u 2023. godini. 78
Grafikon 42. Sadržaj organske tvari u 2023. godini. 79
Grafikon 43. Ukupni ugljik u 2023. godini. 80
Grafikon 44. Ukupni dušik u 2023. godini. 81
Grafikon 45. C/N odnos u 2023. godini. 82
Grafikon 46. Biljci pristupačan fosfor u 2023. godini. 83
Grafikon 47. Biljci pristupačan kalij u 2023. godini. 84
Grafikon 48. Prirod krumpira. 85

POPIS SLIKA

Slika 1. Uzimanje uzoraka tla za fizikalne značajke tla 20
Slika 2. Uzorak tla za određivanje kemijskih značajki tla 20
Slika 3. Gujavice (Lumbricus spp.) u tlu 20
Slika 4. Oranje pokusne parcele u jesen 2020. godine prije postavljanja pokusa 20
Slika 5. Sjetva siderata na potanjurano tlo mehaničkom žitnom sijačicom 21
Slika 6. Siderat nakon nicanja u jesen 21
Slika 7. Siderat 22
Slika 8. Tlo bez siderata (ugar, lijevo) i tlo sa sideratom (zeleni ugar, desno) 22
Slika 9. Uzimanje uzoraka siderata za vaganje i analizu biljnog materijala 22
Slika 10. Vaganje siderata 22
Slika 11. Unošenje izmalčiranog siderata u tlo rovilom 25
Slika 12. Tlo nakon obrade rovilom. Lijevo na slici tretman bez siderata, a desno tretman sa sideratom 25
Slika 13. Tlo sa sideratom, obrada rotodrljačom 25
Slika 14. Tlo bez siderata nakon obrade rotodrljačom 25
Slika 15. Izgled usjeva kukuruza početkom lipnja 26
Slika 16. Kukuruz u zriobi 26
Slika 17. Vaganje soje za podešavanje norme sjetve 27
Slika 18. Norma sjetve OS Lucija 27
Slika 19. Sjetva soje na tretmanu bez siderata 27
Slika 20. Sjetva soje na tretmanu sa sideratom 27
Slika 21. Usjev soje nakon nicanja, razvijena prva troliska 28
Slika 22. Usjev soje - vidljivi biljni ostaci 28
Slika 23. Soja u cvatnji 28
Slika 24. Soja (formirane mahune) 28
Slika 25. Izgled siderata u zimi 29
Slika 26. Tlo sa sideratom i bez njega 29
Slika 27. Naklijali krumpir sorte Gaya prije sadnje 30
Slika 28. Usjev krumpira pod vodom nakon obilnih oborina u lipnju 30
Slika 29. Usjev krumpira u srpnju na početku cvatnje 30

1. UVOD

Dugi niz desetljeća učinak poljoprivrede se promatrao kroz ekonomsku i društvenu održivost, dok se zadnjih desetljeća sve više uvažava i cijeni ekološka održivost (Egli i sur., 2023.). Globalno zatopljenje i klimatske promjene, sve učestaliji i izraženiji vremenski ekstremi te poremećaji lanaca duge opskrbe iz geopolitičkih razloga samo su neki od izazova koji ugrožavaju navedene održivosti. Hruštek (2020.) upozorava da je poljoprivreda pred novim izazovima. Poljoprivreda kao djelatnost u središtu ovih događanja, suočava se s navedenim problemima, a istovremeno doprinosi ublažavanju ovih problema kroz prehranu rastuće svjetske populacije. U isto vrijeme, poljoprivreda je odgovorna za očuvanje bioraznolikosti i osiguravanje održivosti (Vos i Bellù, 2019).

Više tisućljeća plodnost tla se poboljšavala primjenom organskih gnojiva, držanjem tla na ugaru te primjenom usjeva za zelenu gnojidbu (Kismányoky i Tóth 1997; Cher i sur., 2006.). Primjena mineralnih gnojiva u Europi započinje u drugoj polovici 19. stoljeća, a njihova se široka uporaba intenzivira nakon II. Svjetskog rata (Martens, 2001.). Na ovaj način poljoprivreda prelazi iz više tisućljetnog prirodnog razvoja (bez primjene poboljšivača iz ne agronomskih djelatnosti) u tzv. konvencionalnu poljoprivredu. Butorac (1999.) definira konvencionalnu poljoprivredu kao poljoprivredu koja uključuje stvaranje visokorodnih kultivara i hibrida, suvremenu i intenzivnu agrotehniku, primjenu pesticida i mineralnih gnojiva. Bašić i Herceg (2010.) navode da u konvencionalnoj poljoprivredi prvi put poljoprivredno gospodarstvo gubi tradicionalnu samodostatnost, a ovisi o unosima izvan gospodarstva (strojevi, energija, mineralna gnojiva, pesticidi itd). Od polovice 19. stoljeća pa skoro do kraja drugog tisućljeća poljoprivreda poprima neka obilježja industrije, preuzima i terminologiju kao što su tehnologija proizvodnje ili agrotehnika. Cijenu ovog brzog razvoja konvencionalne poljoprivrede najviše je platio okoliš, primarno bioraznolikost, tlo i vode (Gomiero i sur., 2011.; Kisić i Posavec, 2025.).

Očito je da se svjetska poljoprivreda na početku trećeg tisućljeća nalazi na novom razvojnom raskrižju. Poljoprivredna znanost suočava se s činjenicom da uspostava narušene ravnoteže između razvoja poljoprivrede i čistog okoliša te stabilnog agroekosustava nema alternative (Robertson i sur. 2014.; Balmford i sur. 2018.). Zeleni plan EU-a ima za cilj smanjiti upotrebu i rizik za okoliš od agrokemikalija

za 50% do 2030. godine (Tataridas i sur., 2022.). Kroz primjenu novih tehnologija gdje se ubraja primjena zelene gnojidbe i širih plodoreda, EU pokušava provesti agroekološku tranziciju poljoprivrednih sustava (Cuadros-Casanova i sur., 2023.). Sve navedeno utvrđuje okvire održivog gospodarenja tlom, tražeći od svjetske znanosti i donositelja odluka promjenu sustava gospodarenja u poljoprivredi i prijelaz sa sustava sintetskih kemijskih (mineralna gnojiva i pesticidi) i tehničkih intenzivnih (mehanizacija) na ekološki prihvatljive – „prijateljske“ ili „okolišno prihvatljive“ postupke i zahvate u gospodarenju tlom (Geerling i sur. 2015.; Blasi i sur. 2016.). Zajednički nazivnik koji se sve više popularizira, a govori o održivom gospodarenju tlom i potrebi za smanjenjem degradacije tla, naziva se Land degradation neutrality (Cowie i sur. 2018.). Također sve više znanstvenih radova govori o zdravlju tla u budućnosti (Lehman i sur., 2020.).

Konvencionalna biljna proizvodnja smanjuje sadržaj organske tvari, biološku raznolikost, reakciju tla, stabilnost strukturnih agregata, te povećava pokoricu, zbijenost i onečišćenje organskim ili anorganskim komponentama (Bünemann i sur. 2018.; Clark i Tilman 2017.; Balmford i sur. 2018.). Konvencionalnom obradom tla smanjuje se količina organskog ugljika, smanjuje se stabilnost strukturnih agregata tla, dok odmaranje zemljišta (ugar u bilo kom obliku), osim što utječe na akumulaciju organske tvari, vrlo pozitivno utječe na strukturu i plodnost tla (Chimouriya i sur. 2018.; Li i sur. (2024.).

U ovisnosti o tome sije li se tlo pod ugarom ili ne, razlikuju se pravi (jalovi) ugar i zasijani ili zeleni ugar (Mihalić, 1988.). Pravi (jalovi) ugar predstavlja površine ostavljene na odmoru koje se obrađuju, ali se ne zasijavaju, a zeleni ugar predstavlja površine zasijane usjevima koji će biti zaorani u zelenom stanju u svrhu gnojidbe i poboljšanja svojstava tla (Butorac, 1999; Molnar, 1999.). Mnogobrojni autori naglašavaju da se primjenom zelenog ugara želi primarno povećati razina organske tvari u tlu (Chimouriya i sur., 2018.; Lyu i sur., 2024.; Prajapati i sur., 2023.; Wang i sur., 2025.).

Organska tvar u tlu ima više uloga: povećava retenciju vlage pjeskovitih tala, ali isto tako povećava dreniranost u glinastim tlima (Unger i Jones, 1998.; Müjdeci i sur., 2020.). Osim navedenog organska tvar pruža izvor hranjiva biljkama, stanište korisnim mikroorganizmima i pomaže agregiranju čestica u stabilne strukturne agregate tla (Barros i sur., 2020.; Park i Lee, 2025.). S obzirom da je organska tvar najvažnija komponenta stvaranja i stabilnosti strukturnih agregata, dodavanjem organske tvari u tlo dolazi do poboljšanja strukture tla (Breland, 1995.; Wang i sur, 2025.). Organska

gnojiva dodatno poboljšavaju i ostala fizikalna svojstva tla: volumnu gustoću tla, povećavaju kapacitet tla za vodu i infiltraciju (Latta i sur. 2003.; Alletto i sur. 2011.).

Neosporno je da se od 80-ih godina prošlog stoljeća sve više govori o padu kvalitete tla (Fließbach i sur., 2007.). Kako se sve više govori o smanjenju upotrebe agrokemikalija nameće se pitanje kako poboljšati kvalitetu obrađenog tla, a u isto vrijeme ne smanjiti prinos uzgajanih kultura. Tisućljećima su organska gnojiva, plodored te ostavljanje zemljišta na ugaru predstavljali odgovor na ovaj problem (Butorac, 1999.). Od industrijskih revolucija u Europi (polovica 19. stoljeća) dolazi do sve veće primjene mineralnih gnojiva i ostalih kemikalija što je uzrokovala potpuno izostavljanje ugara, te sve manju primjenu organskih gnojiva i usjeva za zelenu gnojidbu. Na početku trećeg tisućljeća krug se zatvorio. Wang i sur. (2023.) ukazuju da je odgovor u održivoj primjeni mineralnih gnojiva, konzervacijskoj obradi tla, te ponovnom uvođenju usjeva za zelenu gnojidbu - zelenog ugara na obradive površine.

Prema Vaziritabar i sur. (2025.) zeleni ugar i plodored su temeljno oruđe koje dovodi do poboljšanja plodnosti tla i značajno utječe na dugoročnu kvalitetu tla. U plodoredu leguminoze služe za održavanje plodnosti tla kao biljne vrste koje najviše hranjiva i organske tvari vraćaju u tlo, dok se druge kulture uzgajaju iz ekonomskih razloga. Korištenjem zelene mase leguminoza dušik se oslobađa postepeno, u biljci pristupačnom obliku čime se održava izvor hranjiva kroz cijeli vegetacijski period, ali i dugoročno se poboljšava kvaliteta tla (Jug i sur. 2015.). Špoljar i sur., (2001.) navode da grahorica kao predusjev poboljšava fizikalna svojstva tla (stabilnost strukturnih agregata – smanjena pojava pokorice) pri čemu se sadržaj dušika u tlu povećava za oko 20 %.

Time što se tlo ne obrađuje tijekom vegetacijske sezone dok je na ugaru (ne postoji glavni usjev) ono je izloženo jačem utjecaju vlage, zraka, topline, mraza, itd., što dovodi do povećanja mikrobiološke aktivnosti tla u pogledu stvaranja optimalnih uvjeta za uzgoj narednih kultura u plodoredu (Biederbeck i sur., 2005.). Tome sa svoje strane doprinosi mikrobiološka aktivnost tla koja u tim uvjetima ima veću učinkovitost. Tlo je na taj način prirodno pripremljeno i u usporedbi sa stanjem iz prethodne godine ulazi u narednu godinu rahlije i plodnije (Sajjad i sur., 2019.; Ren i sur., 2024.). Jug i sur., (2017.) navode da je zelena gnojidba vrlo dobar način povećanja produktivnosti tla, a posebno je zanimljiva njezina primjena u alternativnim sustavima biljne proizvodnje. Špoljar (2008.) temeljem četverogodišnjeg istraživanja navodi da primjena zelene gnojidbe, osobito uz uzgoj lupine i djetelinsko-travnih smjesa,

doprinosi poboljšanju pojedinih fizikalnih i kemijskih svojstava tla, te povećanju sadržaja hranjiva i organske tvari.

Temeljem svega navedenoga postavljene su hipoteze i ciljevi istraživanja u ovom doktorskom radu.

1.1. Hipoteze i ciljevi istraživanja

Hipoteze postavljene u sklopu ove disertacije bile su sljedeće:

1. Ugar i zelena gnojidba pozitivno utječu na poboljšanje fizikalno-kemijskih značajki tla.
2. Fizikalne značajke tla (volumna gustoća, gustoća čvrste faze tla, stabilnost strukturnih agregata, smanjenje pojave pokorice) će se poboljšati na površinama pod ugarom i na površinama gdje se primjenjuje sideracija u odnosu na površine bez sideracije i ugara.
3. Očekuje se da će doći do pozitivnih promjena kod kemijskih značajki tla (veći sadržaj organske tvari i dušika te povoljniji C/N odnos).

Na osnovi postavljenih hipoteza ciljevi istraživanja su:

1. Utvrditi kako se fizikalne i kemijske značajke tla mijenjaju po godinama i prema tretmanima istraživanja.
2. Ostvariti konkretne pokazatelje za ugar i sideraciju u pogledu poboljšanja fizikalnih i kemijskih značajki tla kao i ostvarenog prinosa uzgajanih jarih kultura.

2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Zelena gnojidba[1] uz mineralnu gnojidbu jedan je od najučinkovitijih načina povećanja plodnosti tla unošenjem u tlo nadzemne mase za tu svrhu posebno uzgojenih usjeva (Ma i sur., 2021.). Zelena gnojidba, kao i svaka druga organska gnojidba, višestruko pozitivno djeluje na svojstva tla i prinos poljoprivrednih kultura (Sajjad i sur., 2019.). U određenom smislu usjeve koji se uzgajaju za zelenu gnojidbu treba smatrati pokrovnim usjevima, budući da u jednom trenutku svog razvoja štite površinu tla od negativnih abiotskih utjecaja (Toungos i Bulus, 2019.). Zelena gnojidba se prakticira prije svega radi povećanja prinosa usjeva koji slijede nakon nje u plodoredu (Yang i sur., 2020.), ali i radi poboljšanja fizikalnih, mikrobioloških i kemijskih parametara tla (Verma i sur., 2023.). Maitra i sur., (2018.) pored ostalog navode da usjevi za zelenu gnojidbu mogu imati važnu ulogu u suzbijanju bolesti, štetnika i korova. Yu i sur., (2026.) naglašavaju da usjevi koji se koriste za zelenu gnojidbu trebaju primarno imati razgranat čupasti/busenasti korijen. Primjena usjeva za zelenu gnojidbu ima za cilj povećanje sadržaja organske tvari u tlu kako bi se uspostavila ravnoteža s gubicima tla koji nastaju zbog obrade, ispiranjem u dublje slojeve ili erozijom – vodom, vjetrom ili korijenom uzgajane biljke (Kisić, 2016.).

Pri odabiru usjeva za zelenu gnojidbu važnu ulogu ima dubina njihovog zakorijenjavanja, posebno pri istodobnoj sjetvi više različitih siderata radi sveobuhvatnijeg prožimanja mase tla (Yu i sur., 2024.). Siderati su najčešće vremenski i prostorno interpolirani između glavnih oraničnih kultura. Za zelenu gnojidbu najpoželjniji su oni usjevi koji zauzimaju površinu samo dio vegetacijskog razdoblja i ne preklapaju se s glavnim usjevima u plodoredu (Fageria, 2007.). Od usjeva koji se uzgajaju za zelenu gnojidbu ne očekuje se ostvarenje određenog prinosa. Njihova primarna misija je da se njihovom razgradnjom u tlu stvore što optimalniji uvjeti za razvoj usjeva koji slijede u plodoredu (Biederbeck i sur., 1998.). Učinkovitost zelene gnojidbe ovisi o prirodu nadzemne i podzemne zelene mase siderata. Što je prinos veći i što je veća unesena masa u tlo, jače je izravno i produžno djelovanje zelene gnojidbe (Chauhan i sur., 2001.).

[1] Zelena gnojidba je agrotehnička mjera kojom se tlo obogaćuje organskom tvari u cilju poboljšanja fizikalnih, kemijskih i mikrobioloških značajki tla. Provodi se uzgojem i unošenjem u tlo nadzemne mase samo za tu svrhu uzgojenih usjeva kraće ili duže vegetacije.

Konvencionalnom obradom tla smanjuje se količina organskog ugljika i stabilnost strukturnih agregata tla (Cerecetto i sur., 2024) dok odmaranje zemljišta (ugar) osim što utječe na akumulaciju organske tvari, vrlo pozitivno utječe i na stabilnost strukturnih agregata tla (Curtin i sur., 2000.; Guo i sur. 2021.).

Chimouriya i sur., (2018.) u preglednom radu navode mnogobrojna istraživanja o učinkovitosti primjene zelene gnojidbe. U prvom djelu rada autori opisuju usjeve koji mogu poslužiti za zelenu gnojidbu, u drugom navode radove čiji je cilj istraživanja bio povećati razinu biljci pristupačnih hranjiva. U narednom poglavlju navode radove koji mogu poboljšati fizikalne parametre tla, slijedi poglavlje gdje su navedeni radovi na temu promjene mikrobiološke slike tla. Posljednja dva poglavlja odnose se na radove koji prikazuju uspješnost zelenih usjeva u cilju sprečavanja bolesti odnosno pojave korova u uzgajanom usjevu.

Wang i sur., (2025.) objavljuju vrlo sličan pregledni rad o vrstama usjeva za zelenu gnojidbu i njihovoj učinkovitosti u poboljšanju fizikalnih, mikrobioloških i kemijskih značajki tla, te ostvarenog prinosa uzgajanih kultura.

Lyu i sur. (2024.) u preglednom radu naglašavaju da se primjena zelene gnojidbe temelji na njezinoj sposobnosti održavanja ravnoteže između fiksacije dušika i mineralizacije, te očuvanja zdravlja tla i opskrbe usjeva dušikom. Integracija zelene gnojidbe s mineralnim dušičnim gnojivima može smanjiti emisije stakleničkih plinova te spriječiti ispiranje nitrata. Uključivanjem zelene gnojidbe u poljoprivredne sustave olakšava se transport i distribucija dušika te apsorpcija dušika u biljkama, poboljšava razvoj korijena te povećava stabilnost strukturnih agregata tla. Autori naglašavaju da bi buduća istraživanja mogla koristiti napredne tehnike poput molekularne ekologije kako bi se otkrili fiziološki mehanizmi koji podupiru primjenu zelene gnojidbe.

Prajapati i sur., (2023.) u preglednom radu naglašavaju da bi se maksimalno iskoristili potencijali zelene gnojidbe, poljoprivrednici moraju prilagoditi izbor usjeva za zelenu gnojidbu svom specifičnom agroekološkom okruženju i integrirati ga u svoje sustave plodoreda. Autori navode uloge usjeva za zelenu gnojidbu, količine hranjiva koje se unose u tlo primjenom određenih usjeva te prednosti i nedostatke usjeva za zelenu gnojidbu.

Cherr i sur., (2006.) u preglednom radu navode gdje je i tko je istraživao utjecaj zelene gnojidbe na promjene parametara tla i ostvarene prinose, te kontrolu bolesti i štetnika primjenom zelene gnojidbe. U radu se vrednuje i ekonomski učinak usjeva za

zelenu gnojidbu. U posljednjem poglavlju ovog preglednog rada autori ukazuju na važnost i nezamjenivost mjesta i uloge usjeva za zelenu gnojidbu u budućnosti.

Verma i sur., (2023.) ukazuju da zelena gnojidba igra ključnu ulogu u održivim poljoprivrednim sustavima stvarajaći povoljnije uvjete za rast i razvoj uzgajane biljke. Autori naglašavaju pozitivan utjecaj zelene gnojidbe na povećanje razine organske tvari u tlu, poboljšanje strukture i rahlosti tla, te sadržaja hranjivih tvari, mikrobne biomase, kapaciteta zadržavanja vode i uravnoteženje omjera ugljika i dušika (C/N) u tlu. Rani i sur., (2021.) ukazuju na važnost usjeva za zelenu gnojidbu u ekološkoj poljoprivredi, te navode usjeve koji mogu poslužiti za zelenu gnojidbu.

Clark (2010.) navodi da će samo 20% biljnih ostataka vraćenih u tlo poslužiti kao sirovina za stvaranje organske tvari tla. Preostalih 80% konzumiraju mikroorganizmi tla za svoju hranu, pa taj dio biljnih ostataka neće poslužiti za stvaranje organske tvari u tlu.

Vaziritibar i sur., (2025.) istražuju utjecaj plodoreda, jalovog i zelenog ugara na prinose uzgajanih usjeva. Zanimljivo je da autori rada naglašavaju da je danas u Europi gotovo nemoguće naći jalovi ili zeleni ugar u konvencionalnoj kao i u ekološkoj poljoprivredi. Autori iznose rezultate 40-godišnjeg istraživanja (1982.-2021.) raznih oblika plodoreda koja su provedena na Sveučilištu Justus von Liebig, Giessen, Njemačka. Pokus je uključivao pet različitih predusjeva (zeleni ugar, jalovi ugar, bob, zob i kukuruz), nakon čega je uslijedio trogodišnji uzgoj žitarica (ozima pšenica, ozima raž, jari ječam) u kombinaciji s četiri razine mineralne gnojidbe (negnojena varijanta; PK 50%; PK 100% + N 50%; PK 100% + N 100%). Utvrđeno je da su unutar deset plodoreda od 1983. do 2019. godine prosječni relativni prinosi pšenice kao prvog sljedećeg usjeva bili značajno veći nakon zelenog ugara (139%), kod zrnastih mahunarki (bob)/jalovi ugar (120%), kukuruza (100%) i zobi (94%). Rotacijski sustav zelenog ugara ne samo da je poboljšao prinos prvog sljedećeg usjeva (ozime pšenice), već je i proširio učinkovitost na drugi (ozima raž) i treći (jari ječam) sljedeći usjev. Nadalje, zeleni ugar imao je sinergijski učinak PK 100% + N 100% na prinos zrna ozime pšenice u usporedbi s golim ugarom, bobom, zobi i kukuruzom. Zeleni ugar i kontinuirana pokrivenost tla malčem od ostataka žetve prethodnog usjeva s primjenom mineralnih gnojiva poboljšali su kruženje dušika i produktivnost usjeva povećanjem dostupnosti dušika u tlu.

O'Dea i sur., (2013.) kroz trogodišnja istraživanja traže zamjenu ljetnog jalovog ugara sa zelenom gnojidbom u cilju povećanja prinosa pšenice (*Triticum aestivum* L.)

na velikoj visoravni, Montana u Sjevernoj Americi. Autori zaključuju da primjena zelene gnojidbe bolje zadržava vodu. Na varijantama s zelenom gnojidbom u odnosu na ugar zabilježeni su kvalitetniji prinosi zrna pšenice. U usporedbi s ugarom, tretman zelene gnojidbe smanjio je prosječni prinos pšenice za 6%. Primjena zelene gnojidbe je povećala prosječnu učinkovitost korištenja dostupnog dušika za 24% tijekom uzgoja pšenice, te je povećan ukupni ugljik u tlu. Na žalost, lokalni farmeri nisu sa oduševljenjem prihvatili ovu agrotehničku mjeru budući da se primarno nije pokazala učinkovitijem u cilju stvaranja višeg prinosa pšenice.

Yang i sur., (2023.) proveli su 6-godišnji poljski eksperiment s četiri tretmana usjeva zelenom gnojidbom i jednim konvencionalnim tretmanom (bez zelene gnojidbe) na tipičnom poljoprivrednom zemljištu niske plodnosti u sušnom području u provinciji Gansu u sjeverozapadnoj Kini. Prinos kukuruza značajno se povećao nakon sjetve zelene gnojidbe, a u 6-godišnjem prosjeku prinos zrna kukuruza u sustavu međuusjeva zelene gnojidbe bio je 11,7% veći nego u konvencionalnom sustavu uzgoja. Autori zaključuju da je uzgoj višegodišnje lucerne značajno povećao organsku tvar i ukupni dušik, ali je značajno smanjen biljci pristupačan fosfor. Kontinuirana sjetva kukuruza nije imala značajan utjecaj na dušik i fosfor, ali je značajno smanjen sadržaj organske tvari. Autori smatraju da je studija pojasnila da je primjena zelene gnojidbe, posebno međuusjev s kukuruzom, najučinkovitiji sustav uzgoja u cilju smanjenja okolišnog stresa i poboljšanje uvjeta poljoprivredne proizvodnje.

Li i sur., (2024.) provode trogodišnji poljski pokus s uzgojem zimske glatke grahorice i ljetnog kukuruza kako bi se procijenili učinci zelene gnojidbe s mineralnim gnojivima na fizikalno-kemijska svojstva tla, udio ugljika, aktivnost enzima i prinos kukuruza. Provedeno je osam tretmana, uključujući različite kombinacije zelene gnojidbe i mineralnih gnojiva. Rezultati su pokazali da je, u usporedbi s kontrolom, primjena zelene gnojidbe povećala vlagu u tlu, ukupni dušik, ukupni fosfor, disanje tla, organsku tvar i njene labilne frakcije te aktivnost enzima, posebno kod tretmana zelene gnojidbe s mineralnom gnojidbom. Međutim, reakcija tla i volumna gustoća tla su se smanjili zbog primjene zelene gnojidbe. Prinos kukuruza povećao se za 34%-53% nakon primjene zelene gnojidbe, a utvrđeno je da je značajno i pozitivno korelirao s kruženjem ugljika u tlu. Štoviše, organska tvar i njene labilne frakcije te ukupni dušik uočeni su kao glavni pokretači povećanja prinosa kukuruza.

Yu i sur., (2024.) proveli su sedmogodišnji poljski pokus kako bi se istražili učinci zelene gnojidbe (uljana repica (FR), grahorica (VV), kombinacija uljane repice i

grahorice (FR + VV) na svojstva tla, multifunkcionalnost tla i prinos pšenice u plodoredu pri različitim razinama primjene dušika (bez dušika - N0, 150 kg N/ha). Rezultati su pokazali da su FR i FR + VV povećali udio aktivnog ugljika i dušika u tlu za 4,0 % - 499,3 % odnosno 11,3 % - 147,8 % u usporedbi s VV. Multifunkcionalnost tla i indeks kruženja ugljika bili su značajno izraženiji na varijantama s primjenom dušičnih gnojiva i zelene gnojidbe, s N0 većim od N150 za dva puta, a FR + VV većim od FR za 1,4-4,3 puta i VV za 1,0-6,6 puta u sloju tla od 0-20 cm. Prinos jare pšenice bio je značajno veći na primjeni dušičnih gnojiva i zelene gnojidbe, s N0 značajno većim od N150 za 5,8%, a FR i FR + VV većim od VV za 8,0% odnosno 12,5% pod N150. Autori zaključuju da je kombinirana sjetva uljane repice i grahorice povećala aktivne udjele ugljika i dušika u tlu te ima potencijal poboljšati multifunkcionalnost tla, čime se otvara mogućnost smanjenja primjene mineralnih dušičnih gnojiva.

Tejada i sur., (2008.) istražuju mogućnost korištenja usjeva za zelenu gnojidbu kao alternativu za smanjenje upotrebe mineralnih gnojiva. Istraživanja su provedena na tipičnom Xerofluent tlu smještenom u blizini Seville (Andaluzija, Španjolska). Autori istražuju učinak triju vrsta usjeva za zelenu gnojidbu: crvenu djetelinu (*Trifolium pratense*, L. (TP), uljanu repicu (*Brassica napus*, L. (BN), te smjesu djeteline i repice: TP + BN. Sve tri zelene gnojidbe imale su pozitivan učinak na biološka svojstva tla, ishranu biljaka i prinos usjeva. Autori povezuju povećanje sadržaja dušika, ugljika, te biljci pristupačna fosfora i kalija s povoljnijom mikrobiološkom slikom tla. U pogledu promjena u tlu najefikasnijom se pokazala varijanta gdje je primijenjena crvena djetelina (TP), nakon čega slijede tretmani TP + BN i BN. Primjena TP-a u tlima povećala je koncentraciju proteina u zrnu, broj zrna u klipu kukuruza i prinos usjeva za 44,6%, 6,3% i 22,1% u usporedbi s kontrolom, nakon čega slijede tretman TP + BN (41,7%, 5,7% i 20,8%) i tretman BN (39%, 5,3% i 20%).

Mnogobrojni autori (Breland, 1995.; Mandal i sur., 2003.; Blanco-Canqui i sur, 2015.) naglašavaju da se na zbijenim tlima obično u svrhu smanjenja otpora tla i popravljanja strukture koriste pokrovni usjevi iz porodice krstašica (*Brassicacea*). Ove kulture osim učinkovitog prodiranja i rahljenja zbijenih slojeva tla dobro razvijenim korijenovim sustavom služe i kao usjevi „hvatači“ hranjiva iz dubljih slojeva. Ozimi pokrovni usjevi usvajanjem vode i direktnim usvajanjem dušika smanjuju mogućnost njegovog ispiranja. Krstašice usvajaju hranjiva iz dubljih slojeva ili omogućuju dodatan dušik glavnom usjevu fiksacijom, ako se kao pokrovni usjev koriste leguminoze (McGuire i sur., 1998.; Cherr i sur., 2006.; Finney, 2016.).

Opskrbljenost dušika u poljoprivrednim tlima može biti učinkovito regulirana usjevima za zelenu gnojidbu i njihovom unošenjem u tlo budući da dodatne količine dušika koje su raspoložive glavnom usjevu smanjuju potrebe za primjenom mineralnih dušičnih gnojiva (Robertson i sur. 2013.), a samim time i troškove proizvodnje (Shi i sur. 2013.). Količine dostupnog dušika nakon inkorporacije pokrovnih leguminoznih usjeva obično se kreću od 40 do 60% od ukupnih potreba glavnog usjeva, a procjenjuje se da oko 40% dušika usvojenog od pokrovnog usjeva bude dostupno glavnoj kulturi u prvoj godini nakon ostavljanja ostataka pokrovnih usjeva kao malča, dok će inkorporacijom u tlo ta količina biti veća i iznosi oko 60% (Sherman i sur., 2021.). Dostupnost mineralnog dušika trebala bi biti najveća tijekom najvećih potreba glavne kulture jer u protivnom može doći do gubitka dušika ispiranjem iz tla i volatizacijom (Gathala i i sur., 2011.). Usklađivanje C/N odnosa ovisno o potrebama dušika glavne kulture moguće je ranijim prekidom vegetacije pokrovnog usjeva, sjetvom smjesa pokrovnih usjeva (kombinacija trava i leguminoza) ili inkorporacijom ostataka u tlo (Gathala i i sur, 2011.). Također, povećanje količina hranjivih elemenata u tlu od strane pokrovnih usjeva ovisit će i o dubini korijenovog sustava i usvajanja hranjiva iz dubljih slojeva koja se nakon prekida vegetacije premještaju u zonu rizosfere glavnog usjeva (Fageria i sur. 2005.). Utjecaj na strukturu tla ovisit će o formiranoj masi i dubini prodiranja korijena pokrovnih usjeva koji mogu utjecati na povećanje volumne gustoće tla, te povećati propusnost zbijenih slojeva tla (Palchikov i sur., 2018.).

Asraf i sur., (2004.) u laboratorijskim uvjetima istražuju utjecaj stvaranja biomase sesbanije (*Sesbania aculeata* Pers.) i kukuruza (*Zea mays* L.) kao usjeva za zelenu gnojidbu nizinske riže u Pakistanu. Iako je kukuruz stvorio tri puta veću biomasu izdanaka u usporedbi sa sesbanijom, potonja je pokazala veću koncentraciju dušika, te je stoga ukupni prinos dušika bio sličan kod obje biljke. Gubici ispiranjem od primijenjenog dušika bili su 2-3 puta manji kod sesbanije u usporedbi s kukuruzom. Iz tih razloga autori predlažu kao predusjev za nizinsku rižu uzgoj sesbanije.

Mooleki i sur., (2016.) utvrđuju prednosti različitih zelenih gnojidba, datuma sjetve i prekida vegetacije na ukupni dušik, biljci pristupačan fosfor i vlagu u tlu, kao i kvalitetu durum pšenice sijane narednu godinu nakon unošenja zelene mase u tlo. Trogodišnja terenska istraživanja provedena su u Swift Currentu, Saskatchewan Kanada, od 2006. do 2009. godine. Tri usjeva za zelenu gnojidbu: krmni grašak (*Pisum sativum* L.), grahorica (*Lathyrus sativus* L.) i crna leća (*Lens culinaris* Medik.) posijane su u svibnju, lipnju i srpnju. Vegetacija usjeva za zelenu gnojidbu prekidana je u punom

cvatu korištenjem totalnog herbicida glifosata, roto drljače ili mraza. Ostali tretmani uključivali su ljetni ugar i strnište odabranih usjeva požnjevenih za zrno ili silažu. Različite zelene gnojidbe, datumi sjetve ili metode prekida vegetacije imali su slične učinke na vlažnost tla, dostupni dušik i biljci pristupačan fosfor. Ovi učinci gospodarenja zelenom gnojidbom bili su usporedivi s onima pod ljetnim ugarom, ali veći od onih na strništu žitarica ili silaže. Stoga je zelena gnojidba održiva alternativa ljetnom ugaru i može se sijati u bilo koje vrijeme tijekom vegetacije. Autori naglašavaju da ako se posije kasno, zelenu gnojidbu može uništiti mraz, čime se štede troškovi. Zelene gnojidbe imale su bolji učinak u odnosu na ostale tretmane u pogledu kvalitete zrna durum pšenice.

Kismányoky i Tóth (1997.) naglašavaju važnost plodoreda te usijavanja usjeva za zelenu gnojidbu. U radu iznose rezultate 30-godišnjeg istraživanja utjecaja plodoreda na prinose uzgajanih kultura. Pokus je bio postavljen na eutričnom kambisolu Georgikon fakulteta Panonskog sveučilišta u Keszthelyu, Mađarska. Ako su prije pšenice i kukuruza u polju bili usijani usjevi za zelenu gnojidbu, prinos se povećao za 30% kod pšenice i 50% kod kukuruza. Već drugu godinu ako nije primijenjena zelena gnojidba utjecaj na povećanje prinosa pšenice i kukuruza nije postojao.

Breland (1995.) istražuje utjecaj usjeva korištenih u zelenoj gnojidbi na određene fizikalne značajke tla. U jaru pšenicu kao zaštitni usjev usijana je bijela djetelina i talijanska raž, koje su zaorane nakon žetve pšenice. Rezultati ukazuju na poboljšanje stabilnosti strukture tla i distribucije strukturnih agregata po veličini, smanjenje volumne gustoće tla i povećanje volumena pora. Autor navodi da usjevi korišteni za zelenu gnojidbu smanjuju zbijenost tla, čak i onda ako se tlo obrađuje u jesen u nepovoljnijim klimatskim uvjetima.

Chauhan i sur., (2001.) istražuju utjecaj zelene gnojidbe kroz nekoliko četvorogodišnjih plodoreda temeljene na pšenici glede profitabilnosti i produktivnosti takve proizvodnje, kao i utvrđivanja stanja nekih kemijskih značajki tla. Nakon četiri godine istraživanja autori utvrđuju maksimalne prinose pšenice u plodoredu riža-krumpir-pšenica-zelena gnojidba, a ostvareni su najveći ekonomski učinci. Sadržaj organskog ugljika i pristupačnog dušika u tlu bio je također veći u plodoredima sa zelenom gnojidbom u odnosu na plodorede bez zelene gnojidbe.

Zhao i sur., (2024.) istražuju kroz devetogodišnji plodored utjecaj biljnih ostataka (slama) i zelene gnojidbe na kvalitetu tla i prinose pšenice, kukuruza i suncokreta. Istraživanja su provedena na Yuanzi Sveučilištu, unutarnja Mongolija, Kina. Varijante

s primjenom zaoravanja biljne mase pokazale su se povoljnijim u odnosu na varijante s mineralnom gnojidbom. U pogledu prinosa autori zaključuju da su se najučinkovitijim pokazale varijante s primjenom mineralnih gnojiva i zelenom gnojidbom na kojima su ostvareni najviši prinosi. Signifikantno viša stabilnost strukturnih agregata tla u odnosu na sve ostale varijante utvrđena je u primjeni zelene gnojidbe.

Park i Lee (2025.) istražuju da li primjena zelene gnojidbe može poboljšati kvalitetu i stabilnost ugljika u tlu u rižinim poljima u usporedbi s konvencionalnom praksom (mineralna gnojiva). Kao usjevi za zelenu gnojidbu korišteni su ječam i grahorica, dok je konvencionalna praksa uključivala primjenu mineralnih gnojiva. Usjevi za zelenu gnojidbu uzrokovali su povećanje emisija CO_2 i CH_4 u usporedbi s tretmanima gdje su bila primijenjena mineralna gnojiva. Primjena zelene gnojidbe u rižina polja značajno je poboljšala stvaranje i stabilnost strukturnih agregata za 21,9%. Osim toga, usjevi za zelenu gnojidbu povećali su koncentraciju ugljika u strukturnim agregatima. Značajno je da su količina i sadržaj ugljika u huminskim kiselinama bili veći u tlima sa zelenom gnojidbom.

Curtin i sur., (2000.) istražuju porast sadržaja ugljika u tlu korištenjem jednogodišnjih leguminoza za zelenu gnojidbu kao djelomične zamjene ugara zelenom gnojidbom. Rezultati trogodišnjih istraživanja u kojima je ugar zamijenjen jednogodišnjim leguminozama za zelenu gnojidbu ukazuju na to da provođenje zelene gnojidbe nije imalo značajan utjecaj na porast sadržaja ugljika u tlu, prvenstveno radi količinski manjeg unosa ugljika u tlo i brze razgradnje organske tvari. Autori navode da zelena gnojidba povoljno djeluje na porast sadržaja ugljika u tlu u sustavu zeleni ugar-pšenica kod većeg unosa biljne mase u tlo.

Gangwar i sur., (2004.) na pjeskovito ilovastom tlu u semiaridnim klimatskim prilikama Uttar Pradesha, Indija u plodoredu riža-pšenica istražuju utjecaj zelene gnojidbe na neke značajke tla i prinose. Za zelenu gnojidbu korišten je bijeli popinac ili olovnjak (*Leucaena leucocephala L.*) u količini od 6 t/ha, čime je u tlo uneseno cca 80 kg/ha dušika. Prinosi zrna riže i pšenice nakon provedene zelene gnojidbe bili su signifikantno viši u odnosu na varijante bez zelene gnojidbe. Zelena gnojidba rezultirala je smanjenjem reakcije tla i volumne gustoće te povećanjem infiltracijske sposobnosti tla. Utvrđen je povećan sadržaj organskog ugljika i dušika u tlu te fiziološki aktivnog fosfora i kalija.

Kharub i sur., (2003.) procjenjuju utjecaj šest različitih plodoreda, temeljenih na uzgoju riže (sa i bez zelenog usjeva) na neke značajke tla. Istraživanja su provedena

na sveučilištu Haryana, Indija. Najviše prinose pšenice registriraju u plodoredu riže i pšenice u koji su uključeni krumpir i grašak u odnosu na plodored riža-pšenica, bez zelene gnojidbe. Kontinuirana zelena gnojidbe sa sesbanijom (*Sesbania aculata L)*. uvjetovala je povećanje sadržaja ugljika u tlu, pristupačnog dušika te biljci pristupačnog fosfora i kalija u usporedbi s plodoredom riža-pšenica. Uzgoj graška i krumpira između riže i pšenice također je povoljno djelovao na ove značajke tla u usporedbi s plodoredom riža-pšenica. Autori utvrđuju smanjenje elektroprovodljivosti i reakcije tla uključivanjem graška i krumpira u plodored.

Kharub i sur., (2004.) istražuju utjecaj zelene gnojidbe i zaoravanja slame u plodoredu riže i pšenice na neke značajke tla i prinose. Slama riže zaorana je prije sjetve pšenice, a sesbanija (*Sesbania cannabina L)* za zelenu gnojidbu prije uzgoja riže. Prinosi pšenice u usporedbi s varijantama gdje su ostaci riže odstranjivani i spaljivani u prve dvije godine pokusa bili su niži, a počeli su rasti u trećoj godini pokusa sa i bez primjene zelene gnojidbe. Provedena zelena gnojidba imala je neznatan utjecaj na porast sadržaja organskog ugljika u tlu te pristupačnog fosfora i kalija. Unošenje rezidua usjeva ili u kombinaciji sa zelenom gnojidbom uvjetovalo je veći porast sadržaja organske tvari u tlu te pristupačnog fosfora i kalija. Zaoravanje usjeva za zelenu gnojidbu najviše je djelovalo na smanjenje volumne gustoće tla.

Mandal i sur., (2003.) na Indijskom poljoprivredno-istraživačkom institutu - New Delhi, Indija istražuju utjecaj primjene zelene gnojidbe u plodoredu riža-pšenica na fizikalne značajke tla, sadržaj organske tvari i ukupnog dušika u tlu. Autori utvrđuju povećani sadržaj organske tvari i ukupnog dušika u tlu na tretmanima na kojima je primijenjena zelena gnojidba u odnosu na ljetni ugar. Volumna gustoća tla do 15 cm dubine tla smanjila se u oba slučaja. Nakon provedbe zelene gnojidbe u odnosu na ugar evidentirane su veće vrijednosti hidrauličke provodljivosti tla. Utvrđene su općenito povoljnije fizikalne (volumna gustoća i stabilnost strukturnih agregata) i kemijske značajke tla (ugljik i dušik) nakon zelene gnojidbe.

Su i sur., (2022.) u dvogodišnjem istraživanju utvrđuju da smanjenje mineralne gnojidbe uz primjenu zelene gnojidbe dovodi do povećanja organskog ugljika u tlu, ukupnog i biljci pristupačnog dušika i fosfora. Navedeno autori povezuju s boljom i kvalitetnijom mikrobiološkom aktivnosti u tlu. Sve navedeno omogućuje poljoprivrednicima da postignu prinose zrna proljetnog kukuruza veće od 14 t/ha uz smanjene (11,2%) stope primjene dušika s 268 kg/ha na 238 kg/ha uz kontinuiranu sjetvu ozime zelene gnojidbe u Sjevernokineskoj ravnici, Kina.

Mcguire i sur., (1998.) procjenjuju učinak korištenja leguminoza za zelenu gnojidbu umjesto klasičnog ugara u dvogodišnjem plodoredu temeljenom na pšenici u dolini Sakramenta, Kalifornija od 1994. do 1996. godine. Autori utvrđuju niži sadržaj vlage u tlu nakon provedene zelene gnojidbe u odnosu na plodored s ugarom. Gnojene varijante pod pšenicom nakon ugara imale su povećani sadržaj ukupnog dušika u tlu u odnosu na negnojene varijante sa zelenom gnojidbom, a ostvareni prinosi bili su podjednaki. Zelena masa leguminoza korištena za zelenu gnojidbu nije utjecala na prinose pšenice.

Nair i Gupta (1999.) istražuju utjecaj provedene zelene gnojidbe u plodoredu riže i pšenice na usvajanje dušika, fosfora i kalija. Pri uzgoju riže provedena zelena gnojidba u odnosu na kontrolu (bez zelene gnojidbe) nije značajno utjecala na usvajanje dušika i kalija, a utvrđeno je značajnije usvajanje fosfora. Autori navode da zelena gnojidba nije imala rezidualni učinak na usvajanje ukupnog dušika, fosfora i kalija za naredni usjev u plodoredu.

Nixon i Simmonds (2004.) navode da dugotrajni uzgoj usjeva u monokulturi uvjetuje degradaciju tla, što rezultira manjim prinosima uzgajanih usjeva. U cilju održivog gospodarenja tlom, autori istražuju utjecaj zelenog ugara i zelene gnojidbe na prinose šećerne trske i fizikalne značajke tla. Primjena ovih mjera gospodarenja nije utjecala na volumnu gustoću tla, ukupni porozitet i kapacitet tla za vodu, ali je kapacitet tla za zrak bio veći za 5 % u odnosu na monokulturu šećerne trske. Utvrđena je povećana infiltracijska sposobnost tla i povećani prinosi šećerne trske nakon primjene navedenih mjera gospodarenja.

Saxena i Yadav (1998.) istražuju utjecaj zelene gnojidbe u plodoredu riža-pšenica na neke značajke tla te usvajanje hraniva. Prinosi zrna riže signifikantno su bili veći pri provedbi zelene gnojidbe. Nakon provođenja zelene gnojidbe također su utvrđene najmanje vrijednosti volumne gustoće tla i reakcije tla, dok se sadržaj organskog ugljika u tlu znatno povećao na varijantama sa zelenom gnojidbom.

Singh i Sharma (2002.) istražuju utjecaj zelene gnojidbe na neke značajke tla te prinose uzgajanih usjeva. Najviši prinos pri uzgoju usjeva u dvopolju postignut je kod sustava grašak-riža, a u tropolju najbolji rezultat postignut je u sustavu grašak-krmni usjev-riža. Kod svih plodoreda utvrđena je pozitivna bilanca za biljci pristupačan fosfor, dok je negativna bilanca bila za kalij, osim kod plodoreda kod kojih je provedena zelena gnojidba. Zelena gnojidba sa sesbanijom (*Sesbania aculata L.*) uvjetovala je

povećanje plodnosti tla, što ukazuje na prednosti provođenja zelene gnojidbe glede više produktivnosti i održivosti sustava proizvodnje riža-pšenica.

Almeida i sur., (2017.) proučavali su utjecaj desetogodišnjeg ugara na obnovu degradiranog tla u polusušnom brazilskom biomu Caatinga. Autori su usporedili ugar s tlom degradiranom prekomjernom ispašom, mjereći otjecanje vode, eroziju tla, te gubitak hranjivih tvari i organskog ugljika. Ugar je značajno smanjio otjecanje vode (36%), eroziju tla (65%) i gubitak organskog ugljika (81%) u usporedbi s degradiranim tlom. Desetogodišnji ugar bio je učinkovit u smanjenju otjecanja, erozije i gubitka organskog ugljika, ali nije značajno utjecao na gubitak ostalih hranjiva.

Sullivan i sur. (2024.) proučavaju učinke zimskih pokrovnih usjeva na zdravlje tla u polusušnim i navodnjavanim sustavima. Studija pokazuje da jedna sezona pokrovnih usjeva unesenih u tlo može poboljšati mikrobiološke i kemijske pokazatelje (povećanje dušika i ugljika) tj. zdravlja tla u usporedbi s jalovim ugarom.

Kuzminykh i sur. (2020.) istraživali su učinak kombinacije ugara i zelene gnojidbe na uzgoj ozime raži, odnosno kako takav sustav utječe na zdravlje biljaka (fitosanitarno stanje tla i biljke), odnosno smanjuje li pojavu bolesti i korova, te kako utječe na prinos samog usjeva raži. Uspoređivali su ga s jalovim ugarom bez zelene gnojidbe. Zaključili su da zelena gnojidba na ugaru značajno poboljšava zdravlje usjeva raži i povećava njezin prinos.

Yao i sur. (2025.) istraživali su utjecaj različitih sustava obrade tla na uzgoj kikirikija u monokulturi. Uspoređivali su tri sustava: jalovi ugar (bez obrade), klasičnu obradu oranjem i zeleni ugar/zelenu gnojidbu (ljulj kao siderat). Zelena gnojidba značajno je poboljšala volumnu gustoću tla i povećala poroznost tla u oraničnom sloju (0-30 cm). Zelena gnojidba je značajno povećala reakciju tla, te razine biljci pristupačnog kalija (K_2O), biljci pristupačnog fosfora (P_2O_5), ukupnog dušika (TN) i organske tvari u tlu. Kao rezultat poboljšanja kvalitete tla, prinosi mahuna kikirikija u sustavu sa zelenom gnojidbom bili su značajno veći u odnosu na tretmane gdje nije primijenjena zelena gnojidba. Korištenje zelene gnojidbe u zimskom periodu značajno poboljšava fizikalna i kemijska svojstva tla, što direktno dovodi do većih prinosa kikirikija.

Li i sur., (2024.) istražuju kako primjena zelene gnojidbe utječe na uzgoj ozime pšenice. Tretmani su bili sa i bez zelene gnojidbe. Rezultati pokazuju poboljšanje prinosa i kvalitete zrna, što ukazuje na potencijal zelene gnojidbe za povećanje produktivnosti uz primjenu ugara.

Zhang i sur. (2025.) objavili su studiju koja pokazuje da integracija zelene gnojidbe s redukcijom mineralnih gnojiva može povećati sekvestraciju ugljika u tlu i povećati prinose usjeva. Navedeno sugerira da zelena gnojidba može imati ključnu ulogu u održivom gospodarenju tlom.

Gao i sur., (2024.) promatrali su učinak različitih vrsta zelene gnojidbe (lucerna, obična grahorica, uljana repica) koja se uzgaja na poljima s zimskim ugarom na prinos kukuruza koji se sije naredne godine. Zaključili su da zelena gnojidba u zimskom ugaru povećava prinos kukuruza i čini da kukuruz bolje koristi dodana mineralna dušična i fosforna gnojiva, čime se smanjuje potreba za njima i potiče održivost. Učinak primjenje zelene gnojidbe se smanjivao od lucerne prema grahorici odnosno uljanoj repici.

Salahin i sur., (2013) su proveli trogodišnja istraživanja s tri načina obrade tla i četiri vrste usjeva za zelenu gnojidbu. Rezultati su pokazali da je zelena gnojidba značajno povećala sadržaj organske tvari (2,5%), te promjene u volumnoj i gustoći čvrste faze tla. Najmanja volumna gustoća tla (1,45 g cm^3) i gustoća čvrste faze (2,48 g cm^3) utvrđene su u primjeni sesbanije i duboke obrade tla u odnosu na kontrolu (bez zelene gnojidbe) i dva preostala usjeva za zelenu gnojidbu. U primjeni sesbanije i duboke obrade tla utvrđeni su i najveći prinosi zobi i kukuruza. Stoga autori sesbaniju preporučaju kao usjev za zelenu gnojidbu u uzgoju zobi i kukuruza.

Sultani i sur., (2007) istražuju promjene fizikalnih parametara tla u primjeni usjeva za zelenu gnojidbu (sesbanija, guar ili grozd grah /*Cyamopsis tetragonoloba*/ i rižin grah /*Vigna umbellata*/). Usjevi za zelenu gnojidbu u odnosu na kontrolu (bez zelene gnojidbe) u prosjeku su smanjili volumnu gustoću tla (5%), povećali ukupnu poroznost (8%), te makropore i velike mezopore (28%). Maksimalno smanjenje (7%) volumne gustoće tla i povećanje (11%) ukupne poroznosti tla i biljci pristupačne vode (17%) utvrđeno je na tretmanima gdje je sesbanija uključena kao usjev za zelenu gnojidbu. Redoslijed učinkovitosti u poboljšanju volumne gustoće tla, makro i mezopora bio je: sesbanija > grozdasti grah > rižin grah. Mosavi i sur., (2012) iako primjenjuju 8 t/ha raži kao zelene mase ne utvrđuju promjene u sadržaju organske tvari u tlu, te u C/N odnosu u odnosu na kontrolu – bez primjene zelene gnojidbe.

Krstić i sur., (2018.) provode dvogodišnja istraživanja na černozemu Vojvodine. U odnosu na kontrolu (bez zelene gnojidbe) varijante na kojima je primjenjena ozima grahorica uzrokovale su osjetan manjak vode u tlu, što je dovelo do smanjenja prinosa kukuruza. Varijante s grahoricom i kombinacija grahorice i tritikalea imali su veći

pozitivan učinak na promjene u zalihi vode u tlu nakon oranja nego tritikale kao zaseban usjev.

Adimassu i sur. (2019.) tijekom trogodišnjih istraživanja na visoravnima Etiopije u humidnim uvjetima zaključuju da isušivanje tla transpiracijom od strane ozimih pokrovnih usjeva može imati pozitivan učinak na tlima težeg mehaničkog sastava u uvjetima veće količine oborina u proljeće. Navedeno će nakon unošenja pokrovnog usjeva u tlo omogućiti bržu sjetvu glavnog usjeva, dok u sušnijim uvjetima na plićim tlima, lakše strukture, s manjim kapacitetom za vodu pokrovni usjevi mogu dovesti do smanjenja prinosa glavne kulture u slučaju nedostatka oborina nakon sjetve i tijekom vegetacije. Slično potvrđuju Prihar i sur. (1991.) u čijem istraživanju je prinos kukuruza bio smanjen nakon unošenja djeteline inkarnatke u tlo. Mooleki i sur., (2016.) ukazuju na povećan sadržaj vode u tlu u slučaju zaoravanja biljnih ostataka raži i povećanje prinosa kukuruza dok u nekim slučajevima promjene u sadržaju vode u tlu nisu zabilježene (Biederbeck i Bouman, 1994.; Chan i sur. 1996.).

Fageria (2007.) ukazuje da je jedna od glavnih prednosti unošenja pokrovnih usjeva u tlo upravo dodavanje organske tvari što je od posebnog značaja u povoljnim agroekološkim uvjetima s umjerenim temperaturama tijekom zime ili dostatnom količinom oborina ljeti. Navedeno će omogućiti zadovoljavajuće formiranje nadzemne biljne mase pokrovnih usjeva koja će biti inkorporirana u tlo, ali u isto vrijeme njihovu razgradnju u zimskom dijelu godine.

Toungos i Bulus (2019.) navode da korijenovim sustavom unesena masa zelenog usjeva stabilizira strukturne agregata tla. Autori navedeno pojašnjavaju da tijekom mikrobiološke razgradnje organske tvari od strane inkorporiranih biljnih ostataka pokrovnih usjeva dolazi do formiranja stabilnih spojeva koji povoljno djeluju na formiranje stabilne strukture u tlu.

Yang i sur., (2020.) su prikupili podatke s 3431 istraživanja na prostoru Kine na temu zelene gnojidbe, uključujući informacije o 17 različitih uobičajenih usjeva koji se koriste za zelenu gnojidbu. Autori kvantificiraju prinose zelene gnojidbe i koncentracije hranjivih tvari u pojedinim usjevima za zelenu gnojidbu. Autori smatraju da ova istraživanja mogu pružiti teorijsku osnovu i potporne podatke za primjenu zelene gnojidbe i zamjenu mineralnih gnojiva s organskim gnojivima. Utvrđeno je da je prosječni prinos svježe zelene mase u Kini bio 38,0 t/ha (sadržaj vlage bio je u prosjeku 81,0%), ali je uočen širok raspon svježe zelene mase pd 0,7 do 186,7 t/ha. Prema procjeni potencijala fiksacije dušika na temelju prinosa, količine fiksacije dušika i

površine sjetve glavnih mahunarki za zelenu gnojidbu u različitim regijama, trenutna površina sjetve usjeva za zelenu gnojidbu u Kini iznosi oko 4,49 milijuna hektara, što je ekvivalentno proizvodnji od 400 do 810 tisuća tona dušičnog gnojiva. Autori procjenjuju potencijalnu površinu za zelenu gnojidbu u Kini na 46 milijuna hektara, što je ekvivalentno proizvodnji od 4,0 do 8,28 milijuna tona dušičnog mineralnog gnojiva. Autori naglašavaju da pri formuliranju regionalnih preporuka za proizvodnju usjeva zelene gnojidbe, treba identificirati i promovirati usjeve zelene za zelenu gnojidbu s jakom prilagodljivošću i performansama u svakoj regiji.

Temeljem navedenog pregleda literature vidljivo je da primjena usjeva za zelenu gnojidbu dovodi do poboljšanja mikrobioloških (*nisu u ovom radu obrađene*) te fizikalnih i kemijskih značajki tla. To se uglavnom odnosi na povećanje količine organske tvari, ukupnog sadržaja dušika, kao i povećanje sadržaja biljci pristupačnog fosfora i kalija u tlu. Od fizikalnih parametara tla primjena zelene gnojidbe uzrokovala je povećanje stabilnosti strukturnih agregata tla, bolju poroznost, vododržnost te promjene volumne gustoće tla. Autori većinom zaključuju da su nakon provođenja zelene gnojidbe ostvareni viši, stabilniji i kvalitetniji prinosi uzgajanih usjeva. Mnogobrojni autori naglašavaju da je zelena gnojidba imala najbolji učinak s primjenom mineralnih gnojiva.

3. MATERIJAL I METODE RADA

3.1. Lokacija istraživanja, uzorkovanje tla i korištene analitičke metode

Trogodišnja poljska istraživanja provedena su na OPG-u Dalibora Jurina u Velikim Zdencima, Bjelovarsko-bilogorska županija (45°65'18" N, 17°08'28" E). Istraživana lokacija pripada središnjoj panonskoj regiji (Bašić, 2014.). Klima ovog područja klasificirana je kao umjerena kontinentalna s toplim ljetima prema Köppenovoj klasifikaciji (Dfb; Kottek i sur., 2006.). Pretkultura za postavljanje pokusa bila je soja (*Glycine max* L), a tlo je u jesen 2020. godine pripremljeno za istraživanje klasičnim lemešnim plugom. Pokus je postavljen prema potpuno slučajnom rasporedu (Vasilj, 2000.) na parcelama dimenzija 10 x 35 m, s četiri ponavljanja. Prema priručniku za trajno motrenje poljoprivrednog zemljišta (Mesić i sur., 2008.) 17. listopada 2020. godine uzeti su nulti uzorci tla za fizikalne i kemijske analize tla (slike 1. i 2.). Prisutnost gujavica (*Lumbricus* spp.) koje su pronalažene prilikom početnog uzorkovanja tla (slika 3.) ukazuje na povoljno stanje edafona tla. Sljedećeg dana, 18. listopada 2020., tlo je obrađeno trupnim plugom ravnjakom na dubinu od 25 do 30 cm (slika 4.). Plug je bio podešen na širinu brazde od 35 cm, dok je radna širina uređaja iznosila 1,05 m.

Za potrebe fizikalnih analiza tla uzorci su uzimani u neporušenom stanju pomoću metalnih cilindara (Kopecky) volumena 100 cm^3 (promjer 53 mm, visina 51 mm), dok su za kemijske analize korišteni uzorci tla u porušenom stanju uzeti pedološkom sondom (Eijkelkamp, Nizozemska) s dubine 0-20 cm. Sa svakog tretmana prema linijskom rasporedu uzeta su četiri prosječna uzorka tla. Na svaka tri metra uzet je jedan pojedinačni uzorak od kojega je sačinjen prosječni uzorak tla u porušenom stanju za određivanje fizikalnih i kemijskih parametara tla.

Uzorci tla zrakosuho su osušeni, samljeveni i prosijani (< 2 mm) u skladu sa normom: HRN ISO 11464:2009. Od fizikalnih značajki tla istraživane su volumna gustoća tla (Stv ili ρ_v) i gustoća čvrste faze tla (Stp ili $\rho_č$), dok su od kemijskih parametara analizirani pH tla, mjeren u KCl otopini, sadržaj organske tvari (%), ukupni ugljik (TC), ukupni dušik (TN), omjer ugljika i dušika (C/N), fiziološki aktivni fosfor (P_2O_5) i fiziološki aktivni kalij (K_2O). Volumna gustoća tla je određena prema normi: ISO 11272:2017, a gustoća čvrste faze tla prema normi: 11508:2017. Za kemijske parametre tla korištene su naredne metode: reakcija tla, elektrometrijski u KCl (HRN

ISO 10390:2004), sadržaj organske tvari prema Tjurinu, opskrbljenost pristupačnim P_2O_5 i K_2O AL metodom. Za određivanje ugljika i dušika korišten je CHNS analizator (Elementar, Njemačka). Ukupni ugljik je određen prema normi: HRN ISO 10694:2004, a ukupni dušik prema normi: HRN ISO 13878:2004.



***Slika 1**. Uzimanje uzoraka tla za fizikalne značajke tla*



***Slika 2**. Uzorak tla za određivanje kemijskih značajki tla*



***Slika 3.** Gujavice (Lumbricus spp.) u tlu*



***Slika 4**. Oranje pokusne parcele u jesen 2020. godine prije postavljanja pokusa*

Tip tla na kojem su provedena istraživanja determiniran je kao pseudoglej obronačni, duboki, odnosno prema WRB klasifikaciji (2022.) Stagnic Luvisol. Ovaj tip tla karakterizira kisela reakcija i niska razina organske tvari, što primarno uzrokuje vrlo lošu stabilnost strukturnih agregata tla. Posljedica je stvaranje pokorice različite moćnosti na ovom tipu tla što se vrlo jako izražava pri nicanju okopavinskih jarih usjeva koji su uključeni u ova istraživanja. Prema dopunskom kvalitativnom opažanju određena je stabilnost strukturnih agregata i vjerojatnost stvaranja pokorice vizualnim promatranjem istraživanih tretmana.

3.2. Nulta godina istraživanja (2020./21.) – sijanje siderata

Nakon oranja, na dijelu pokusne parcele predviđene za sjetvu siderata, 20. listopada 2020. godine provedeno je dvostruko tanjuranje tragom pomoću V-izvedbe nošene tanjurače s promjerom tanjura 510 mm. Ovim zahvatom tlo je bilo grubo usitnjeno, no u dovoljnoj mjeri pripremljeno za sjetvu siderata. Sjetva je provedena 22. listopada 2020. godine mehaničkom žitnom sijačicom širine zahvata 2,5 m (slika 5.). Pri sjetvi je korištena mješavina ozime zobi (*Avena sativa* L, sorta Bc Marta) i stočnog graška (*Pisum sativum* L, sorta Bc Šampion) u omjeru 100 kg/ha za ozimu zob i 90 kg/ha za stočni grašak. Siderat je u jesen postigao zadovoljavajući sklop (slika 6.). Na dijelu parcele gdje nije provedena sjetva siderata, tlo je ostavljeno uzorano i nije obrađivano tijekom zime (slika 6. - desno).



***Slika 5**. Sjetva siderata na potanjurano tlo mehaničkom žitnom sijačicom*



***Slika 6**. Siderat nakon nicanja u jesen*

U proljeće 2021. godine, 14. svibnja, nakon što je siderat postigao zadovoljavajući razvoj/sklop (slike 7. i 8.), provedeno je uzorkovanje i vaganje biljnog materijala (slike 9. i 10.). Uzeti su uzorci biljnog materijala za analizu suhe tvari u biljnom materijalu (sideratu) u Agrokemijskom laboratoriju Razvojne agencije Agro Grubišno Polje. Analizom je utvrđeno da siderat sadrži 19,64 % suhe tvari. Mase siderata izmjerene na površini od 1 m² kretale su se od 2,75 do 4,65 kg, s prosječnom vrijednošću od 3,66 kg po m². Na temelju postotka suhe tvari, izračunata je prosječna količina suhe tvari siderata od 0,72 kg/m², što odgovara približno 7,2 t/ha suhe tvari. Budući da se za uspješnu sideraciju smatra da je minimalna količina suhe tvari 5 t/ha,

u ovom slučaju ta je vrijednost zadovoljena, čime je potvrđena uspješnost razvoja siderata.



***Slika 7**. Siderat*



***Slika 8**. Tlo bez siderata (ugar, lijevo) i tlo sa sideratom (zeleni ugar, desno)*



***Slika 9**. Uzimanje uzoraka siderata za vaganje i analizu biljnog materijala*



***Slika 10**. Vaganje siderata*

3.3. Primijenjeni tretmani

U istraživanju su primjenjeni naredni tretmani (sustavi uzgoja bilja):

1. **Jalovi ugar, 2–3 puta malčiran zbog korova, te jednom godišnje obrađen rovilom dalje u tekstu – „ugar“**
2. **Ugar sa sideracijom (zeleni ugar) – na tlu se ne sije glavni usjev nego tlo miruje, ali se sije siderat (zeleni usjev), dalje u tekstu – „ugar + siderat“**
3. **Usjev sa sideratom – sije se glavni usjev, ali između glavnih usjeva sije se siderat (zelena gnojidba), dalje u tekstu – „usjev + siderat“**
4. **Usjev - sije se glavni usjev, bez sijanja siderata, dalje u tekstu – „usjev“, prve godine kukuruz, druge godine soja i treće godine krumpir.**

Isti sustavi uzgoja bilja primjenjivani su sve tri godine istraživanja na svakom tretmanu.

U cilju smanjenja broja prolaza po tlu i izbjegavanja negativnih utjecaja oranja na promjene fizikalno kemijskih parametara tla u istraživanju je primijenjena reducirana obrada tla bez upotrebe klasičnog pluga. Za usitnjavanje biljnih ostataka i siderata korišteno je malčiranje, dok su za osnovnu obradu tla i unos biljne mase u tlo korišteni plošni kultivator (rovilo), a za dopunsku obradu rotodrljača. Ovim pristupom broj prolaza po tlu sveden je na minimum, uz zadovoljavajući unos organske mase i kvalitetnu pripremu tla za sjetvu.

Nakon početne (nulte) godine, tlo je orano radi homogenizacije uvjeta za nulto uzorkovanje, plug se tijekom daljnjeg istraživanja nije koristio. Umjesto toga, obrada tla obavljala se rovilom ili plošnim kultivatorom, kako za pripremu tla za sjetvu siderata, tako i za pripremu tla za sjetvu glavne kulture. Izuzetak je predstavljao tretman „ugar“, gdje nije sijan siderat, već se tlo tijekom vegetacije dva do tri puta malčiralo, dok je jednom godišnje, krajem vegetacije odnosno pred zimu, provedeno rahljenje tla i unos izraslog biljnog materijala plošnim kultivatorom ili rovilom. U sustavu „ugar“ nije korištena rotodrljača, čime je broj prolaza dodatno smanjen.

U tretmanu „usjev + siderat“ primijenjeni su isti postupci, uz dodatnu sjetvu siderata u jesen na prethodno pripremljeno tlo. Za tretman „usjev“, koji su proljetne kulture, osnovna i dopunska obrada tla provedena je u proljeće prema opisanom

postupku. Malčiranje i unošenje siderata u tlo također su provedeni prema prethodno opisanom protokolu. Ovi tretmani primjenjivani su dosljedno tijekom sve tri godine istraživanja.

Sjetva siderata obavljena je mehaničkom žitnom sijačicom marke Hassia, sjetva kukuruza četverorednom pneumatskom sijačicom OLT Osijek, a sjetva soje mehaničkom sijačicom Maschio opremljenom potiskivačima sjemena radi boljeg nicanja. Sadnja gomolja krumpira (frakcija 28 – 35 mm) provedena je poluautomatskom dvorednom sijačicom Hmezad (Žalec, Slovenija).

Kako bi se istaknuli učinci zelene gnojidbe, tijekom cijelog istraživanja nisu primjenjivana mineralna niti organska gnojiva, osim same zelene gnojidbe u tretmanima gdje je bila zastupljena. Također, s obzirom na važnost mikrobiološke aktivnosti tla za razgradnju organske mase, nije korištena primjena zemljišnih insekticida, što je dovelo do smanjene kvalitete krumpira uslijed oštećenja gomolja žičnjacima (*Elateridae* spp.).

Kod sjetve soje korišteno je inokulirano sjeme bakterijama radi poboljšane fiksacije dušika. Kukuruz je sijan standardno tretiranim sjemenom fungicidima, ali bez insekticidnog tretmana, što nije utjecalo na gustoću sklopa usjeva. Za suzbijanje korova u kukuruzu i krumpiru primjenjivane su kombinacije kemijskih i mehaničkih mjera, uključujući kultivaciju i ogrtanje kod krumpira, te primjenu zemljišnih herbicida prije nicanja. Kod soje, s obzirom na uski razmak redova (12,5 cm) i sjetvu žitnom sijačicom, provedena je samo kemijska zaštita poslije sjetve i prije nicanja, bez potrebe za daljnjom korekcijom herbicidima.

3.4. Prva godina istraživanja (2021.) - kukuruz

Nakon uzimanja uzoraka i analize siderata u Agrokemijskom laboratoriju Razvojne agencije Grubišno Polje, dana 15. svibnja 2021. provedeno je malčiranje siderata te unošenje biljnog materijala u tlo plošnim kultivatorom (slike 11. i 12.). Dana 18. svibnja 2021. provedena je dopunska obrada tla rotodrljačom (slike 13. i 14.), nakon čega je provedena sjetva kukuruza FAO grupe 320 (hibrid Bc Alibi). Na dijelu pokusa kod tretmana zeleni ugar također je provedeno malčiranje siderata, no bez daljnje obrade tla i bez sjetve glavnog usjeva.



***Slika 11**. Unošenje izmalčiranog siderata u tlo rovilom*



***Slika 12**. Tlo nakon obrade rovilom. Lijevo na slici tretman bez siderata, a desno tretman sa sideratom*



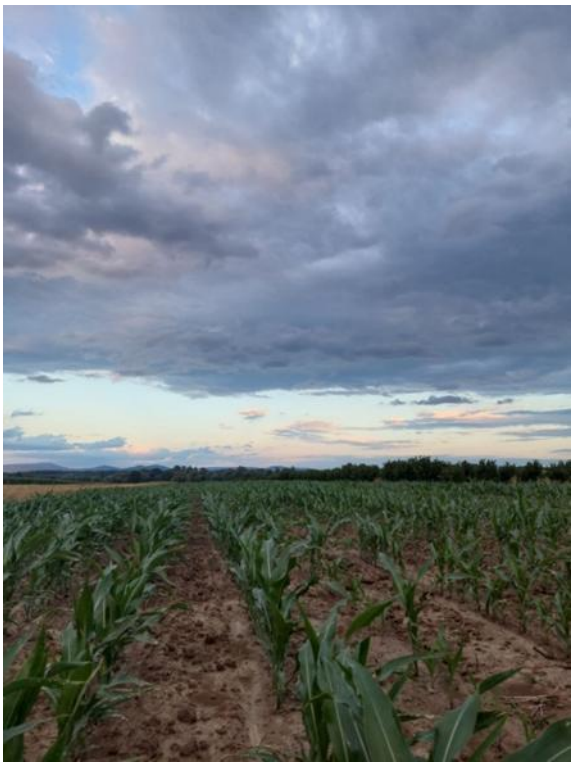
***Slika 13**. Tlo sa sideratom, obrada rotodrljačom*



***Slika 14**. Tlo bez siderata nakon obrade rotodrljačom*

Nakon nicanja usjeva i pratećih korova, dana 10. lipnja 2021. provedena je zaštita kukuruza herbicidima Trawell (akt. tvar rimsulfuron, 250 g/kg) u dozi od 50 g/ha te Motikan (akt. tvar dikamba, 480 g/l) u dozi od 0,5 l/ha, uz primjenu okvašivača Trend u koncentraciji 0,1 %. Ovi tretmani dali su zadovoljavajuće rezultate u suzbijanju korova (slika 15.). 22. lipnja 2021., nakon sušenja korova, obavljeno je kultiviranje

usjeva radi povećanja prozračnosti tla. Pri tome nisu korištena mineralna gnojiva za prihranu usjeva. Dana 8. srpnja 2021. uzeti su uzorci tla s usjeva kukuruza za fizikalne i kemijske analize, na način kako je to opisano ranije u tekstu, prilikom uzimanja nultih uzoraka tla. Dana 14. srpnja 2021. provedeno je malčiranje površina ugarnih površina – jalovog (bez siderata) i zelenog (sa sideratima) s ciljem sprječavanja osjemenjivanja korova te održavanja urednog stanja površina. Dana 17. listopada 2021. kada je kukuruz bio u zriobi (slika 16.) provedena je ručna berba kukuruza u klipu. Uzorci su prikupljeni prema linijskom rasporedu unutar svakog tretmana. Svaka lokacija imala je površinu od 1 × 1 m i obuhvaćala je dva reda kukuruza.



***Slika 15**. Izgled usjeva kukuruza početkom lipnja*



***Slika 16**. Kukuruz u zriobi*

Prinos kukuruza mjerio se vaganjem vlažnog zrna s oklaskom, zatim prinos bez oklaska, uz određivanje vlage u kukuruzu te izračun prinosa suhog zrna. Također je na uzorkovanim lokacijama zabilježen broj klipova i prosječna težina klipa. Naredni dan 18.10.2021., obavljena je mehanizirana žetva preostalog kukuruza kombajnom. Treće uzorkovanje tla za fizikalne i kemijske analize provedeno je 23. listopada 2021.

3.5. Druga godina istraživanja (2022.) - soja

Dana 25.10.2021. provedeno je malčiranje biljnih ostataka kukuruza, te obrada tla rovilom i rotodrljačom. Dan poslije provedena je sjetva siderata jare zobi i stočnog graška. Kada se siderat dovoljno razvio – 15.05.2022., provedeno je kontrolno vaganje siderata kako bi se utvrdilo da na cijeloj površini postoji minimalno 5 t/ha suhe tvari siderata. Dana 22.05.2022. provedeno je malčiranje siderata i unošenje siderata u tlo rovilom. Na slikama 17. i 18. prikazano je određivanje norme sjetve za soju. Sjetva soje provedena je kombiniranim strojem koji se sastoji od rotodrljače i sijačice (slike 19. i 20.). Sorta soje je bila OS Lucija, inokulirana, grupe zrenja 00, sklop 600 zrna po m^2 odnosno norma sjetve je 125 kg/ha.



***Slika 17**. Vaganje soje za podešavanje norme sjetve*



***Slika 18**. Norma sjetve OS Lucija*



***Slika 19**. Sjetva soje na tretmanu bez siderata*



***Slika 20**. Sjetva soje na tretmanu sa sideratom*

Odmah nakon sjetve, a prije nicanja soje provedena je zaštita soje od korova zemljišnim herbicidima i to kombinacijom sredstava Metro (akt. tvar metribuzin 700

g/kg) u količini 0.5 kg/ha i Frontier X2 (a.t. dimetenamid-p 720 g/l) u količini 1 l/ha, što je dalo dobre rezultate te nije bilo potrebe za korektivnim tretmanom herbicidima (slike 21. i 22.). Četvrto uzorkovanje tla provedeno je 07.07.2022. Izgled soje u cvatnji odnosno u stadiju formiranja mahuna prikazan je na slikama 23 i 24.



***Slika 21**. Usjev soje nakon nicanja, razvijena prva troliska*



***Slika 22**. Usjev soje - vidljivi biljni ostaci*



***Slika 23**. Soja u cvatnji*



***Slika 24**. Soja (formirane mahune)*

Prema metodici uzorkovanja od prošle godine 6. listopada 2022. ručno su uzeti uzorci sjemena soje, pri čemu je mjeren prinos sjemena te određivana masa i sadržaj vlage, na način kako je to opisano kod kukuruza u prvoj godini istraživanja. Žetva preostale soje provedena je 8. listopada 2022. Naredni dan - 9. listopada 2022. provedeno je peto uzorkovanje tla za fizikalne i kemijske analize.

Prema prethodno opisanom protokolu, 12. listopada 2022. provedena je obrada tla rovilom, a 13. listopada 2022. provedena je daljnja obrada tla rotodrljačom. Sjetva siderata u sjetvenoj normi obavljena je 15. listopada 2022. Na površinama pod ugarom

sa sideratom, siderat je samo malčiran i unesen u tlo rovilom, dok je na ugaru provedeno malčiranje i prozračivanje tla rovilom. Površine na kojima nije sijan siderat obrađene su isključivo rovilom i ostavljene preko zime na izmrzavanju (slike 25. i 26.).



***Slika 25**. Izgled siderata u zimi*



***Slika 26**. Tlo sa sideratom i bez njega*

3.6. Treća godina istraživanja (2023.) - krumpir

Prema uobičajenom protokolu, praćeno je stanje siderata te je provedeno njegovo vaganje. Nakon što je siderat optimalno razvijen, 9. svibnja 2023. provedeno je malčiranje siderata, njegovo unošenje u tlo rovilom, te daljnja obrada tla rotodrljačom. Nakon toga provedena je sadnja naklijalog krumpira sorte Gaya, kalibracije 28/35 mm, na razmak redova od 70 cm i razmak biljaka u redu od 28 cm, što osigurava sklop od 51.000 biljaka po hektaru (slika 27.). Zbog potencijalnog negativnog utjecaja na korisne mikroorganizme u tlu, izostavljeno je tretiranje tla insekticidima protiv žičnjaka (*Elateridae* spp), što je naknadno rezultiralo smanjenom kvalitetom gomolja zbog oštećenja uzrokovanih ovim štetnicima.

Dana 10. svibnja 2023. godine provedena je zaštita usjeva krumpira od korova primjenom zemljišnog herbicida Sencor SC 600 (akt. tvar metribuzin, 600 g/l) u dozi od 0,9 l/ha. Pretposljednje, šesto uzorkovanje tla za fizikalne i kemijske analize obavljeno je 14. lipnja 2023. godine. Dana 8. lipnja palo je 80-ak milimetara oborine u nekoliko sati što je rezultiralo poplavljivanjem redova krumpira (slika 28.). Voda između redova se zadržala desetak dana što se odrazilo kasnijim smanjenjem optimalnog sklopa odnosno priroda gomolja krumpira (slika 29.).



***Slika 27**. Naklijali krumpir sorte Gaya prije sadnje*



***Slika 28**. Usjev krumpira pod vodom nakon obilnih oborina u lipnju*



***Slika 29**. Usjev krumpira u srpnju na početku cvatnje*

Dana 28. lipnja 2023. godine provedena je mehanička mjera ogrtanja krumpira, nakon čega je provedena zaštita usjeva od bolesti sredstvom Ranman Top (akt. tvar ciazofamid, 160 g/l) u dozi od 0,5 l/ha, te zaštita od štetnika krumpirove zlatice uporabom sredstva Alverde (akt. tvar metaflumizon, 240 g/l) u dozi od 0,2 l/ha. Zbog potrebe za dodatnom zaštitom od uskolisnih korova, 25. srpnja 2023. primijenjen je herbicid Trawell (akt. tvar rimsulfuron, 250 g/kg) u dozi od 50 g/ha, uz dodatak okvašivača Trend u koncentraciji od 0,1 %. Vađenje, sortiranje i vaganje krumpira provedeno je 15. listopada 2023. na dva reda krumpira, budući da je jedan red širine 70 cm. Završno, sedmo uzorkovanje tla za fizikalne i kemijske analize provedeno 20. listopada 2023. godine.

3.7. Fizikalne i kemijske analize uzoraka tla

Tijekom istraživanja provedenog u razdoblju od listopada 2020. do listopada 2023. godine, sedam puta su prikupljani uzorci tla radi provedbe fizikalnih i kemijskih analiza tla. Datumi uzorkovanja tla bili su: 17. listopada 2020. (početno uzorkovanje), 8. srpnja 2021., 23. listopada 2021., 7. srpnja 2022., 9. listopada 2022., 14. lipnja 2023. te 20. listopada 2023.

3.8. Statistička obrada podataka

Podaci istraživanja fizikalnih i kemijskih svojstava tla, te prinosa kroz sve godine istraživanja statistički su obrađeni metodom analize varijance (ANOVA) prilagođenom za potpuno slučajni raspored pri čemu je korišten statistički program Statistica 12.0 (StatSoft Inc.SAS Institute, Cary, NC, SAD), a provjera statističke značajnosti provedena je HSD Tukey testom na razini vjerojatnosti $p < 0,05$, uz 95 % interval pouzdanosti.

4. KLIMATSKE ZNAČAJKE

Najbliža meteorološka postaja istraživanom području je meteorološka postaja Daruvar, smještena približno 10 km zračne udaljenosti od lokacije istraživanja. Podaci s ove meteorološke postaje korišteni su za obradu klimatskih značajki tijekom provođenja pokusa. Također, podaci za tridesetgodišnje razdoblje za usporedbu s klimatskim prilikama tijekom istraživanja korišteni su s ove državne meteorološke postaje. Prema dostupnim meteorološkim podacima, klima ovog područja klasificira se kao umjereno kontinentalna (Zaninović i sur. 2008.).

4.1. Klimatske značajke 2021. godine

Iz podataka navedenih u tablici 1**Error! Reference source not found.**. može se zaključiti da je u 2021. godini najhladniji mjesec bio siječanj, sa srednjom mjesečnom temperaturom od 3,1 °C., slijedi prosinac sa srednjom mjesečnom temperaturom od 3,2 °C. Najniža srednja dnevna temperatura zabilježena je u veljači, kada je 13. veljače izmjereno –6,4 °C. S druge strane, najtopliji mjesec u promatranom razdoblju bio je srpanj, sa srednjom mjesečnom temperaturom od 23,8 °C. Drugi najtopliji mjesec bio je lipanj, sa srednjom temperaturom od 22,2 °C. U lipnju je također zabilježena najviša srednja dnevna temperatura 28,7 °C, 14. lipnja. Ovi ekstremi potvrđuju izražene temperaturne oscilacije tijekom godine koje su mogle imati značajan utjecaj na fenološki razvoj biljaka i ukupnu poljoprivrednu proizvodnju. U tablici 2. prikazana je usporedba srednjih mjesečnih temperatura za 2021. godinu i višegodišnji prosjek.

Iz tablice 2. i grafikona 1. može se zaključiti da su siječanj, veljača, lipanj, srpanj i prosinac 2021. godine bili značajno topliji u odnosu na višegodišnji klimatski prosjek, dok su ožujak, travanj, svibanj, listopad i studeni bili nešto hladniji od prosjeka. Mjeseci kolovoz i rujan nisu pokazivali veća temperaturna odstupanja u usporedbi s višegodišnjim vrijednostima.

Kada se razmatra utjecaj ovakvih temperaturnih odstupanja na rast i razvoj biljaka, može se zaključiti da su ona imala negativan učinak. Hladnije proljetno razdoblje usporilo je početne faze vegetacije i nicanje kukuruza, dok su povišene temperature tijekom ljeta dodatno opteretile kukuruz, uzrokujući toplinski stres. Kukuruz se morao prilagođavati ovim nepovoljnim uvjetima, što se zasigurno

negativno odrazilo na njegov razvoj i konačan prinos.

Tablica 1. Srednje dnevne temperature za Daruvar tijekom 2021. godine

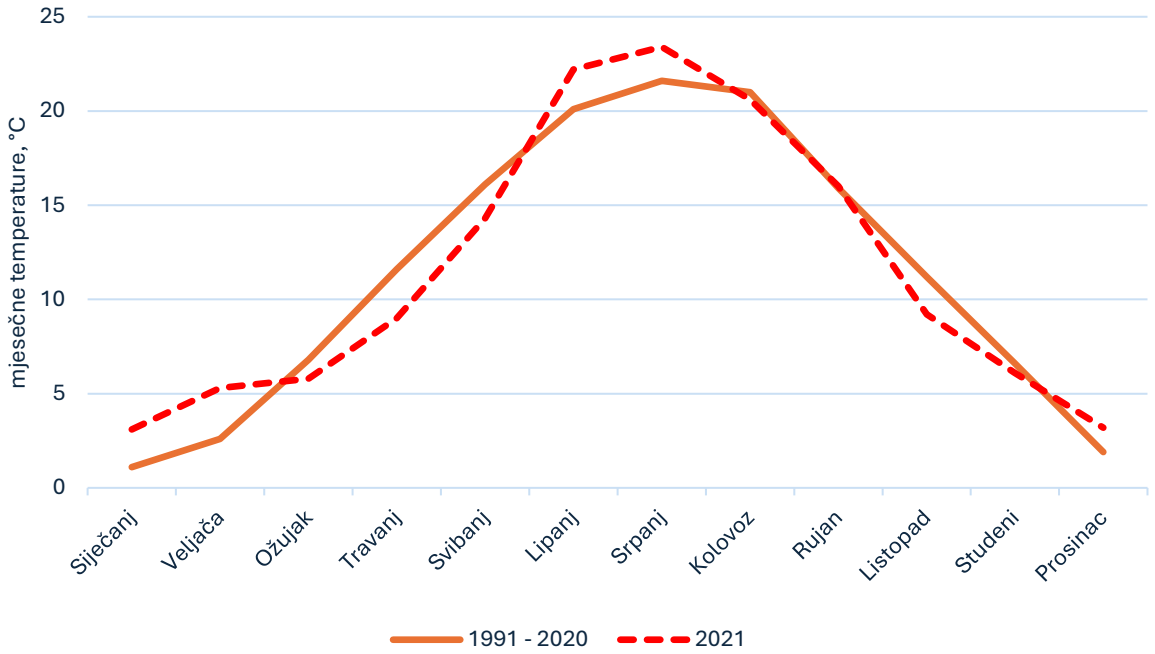
2021.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
1	5,9	-0,3	3,1	14,7	19,1	13,8	20,1	23,9	14,7	13,1	11,5	9,5
2	8,2	0,6	4,2	15,1	17,1	16,2	20,6	21,4	14,8	11,6	6,4	8,3
3	6,0	12,2	5,4	6,8	8,0	17,9	20,6	23,2	15,8	15,5	14,2	0,8
4	4,1	11,8	9,1	4,5	13,0	19,5	22,4	23,5	16,7	16,8	12,0	1,9
5	5,4	12,1	6,8	8,2	13,6	21,9	21,1	18,6	16,5	19,0	8,6	3,4
6	4,7	10,6	0,2	1,4	10,0	18,8	23,9	20,4	15,5	14,6	8,6	1,4
7	2,9	14,0	-0,1	1,6	10,4	20,4	26,8	22,5	15,8	11,6	8,6	-0,7
8	1,5	6,7	5,0	5,9	10,1	20,7	28,0	25,5	15,8	11,1	8,2	1,6
9	1,4	5,5	3,2	7,8	14,6	20,9	27,6	23,1	15,4	9,4	6,6	1,6
10	-0,4	8,6	3,2	11,8	19,2	20,0	25,2	24,8	16,0	7,7	3,6	1,2
11	-0,9	-2,7	5,9	11,0	19,8	20,3	24,4	24,4	16,1	9,0	4,4	1,7
12	-0,9	-4,7	9,6	13,8	15,6	21,3	22,6	23,8	17,4	8,4	5,1	3,0
13	-1,7	-6,4	9,4	2,8	15,2	20,0	27,6	25,3	17,9	5,3	8,4	0,8
14	-1,3	-4,9	6,0	3,0	14,8	16,4	23,9	25,2	19,1	4,4	7,1	3,8
15	-1,3	-3,9	4,8	3,0	14,4	18,1	23,0	27,0	22,3	7,3	4,2	4,7
16	-1,5	1,8	5,0	4,9	15,1	21,0	20,1	25,6	21,6	8,9	6,6	3,3
17	-2,2	3,9	2,3	6,6	12,6	22,8	21,2	17,5	16,8	7,4	7,5	4,2
18	-2,5	3,6	1,4	7,0	15,7	23,4	22,8	17,2	14,6	6,8	7,2	2,4
19	2,4	9,9	1,0	7,6	10,7	24,9	20,0	18,0	17,1	8,3	5,6	4,8
20	8,2	9,8	2,1	7,8	11,4	25,9	20,9	19,7	10,2	12,0	5,1	0,6
21	10,2	6,7	1,4	12,5	15,4	27,9	19,6	20,8	10,0	15,7	2,2	-1,0
22	14,0	8,4	2,4	13,7	15,8	26,7	20,1	23,0	11,4	13,2	4,6	-1,5
23	9,7	7,8	6,3	10,1	15,7	27,2	20,6	17,9	12,0	9,2	2,3	2,7
24	4,2	7,7	6,3	10,3	15,4	28,7	24,2	19,3	16,0	4,6	0,0	10,9
25	1,8	9,3	6,0	15,4	13,2	26,8	25,1	15,9	16,2	4,8	3,2	10,5
26	0,6	8,9	8,6	10,8	14,5	22,8	25,8	18,2	19,8	4,3	4,0	1,6
27	-0,5	8,1	13,0	8,4	16,0	23,9	25,4	13,6	19,2	5,1	6,8	-0,5
28	3,7	3,7	9,8	10,8	14,4	24,9	26,6	13,0	16,0	4,8	5,3	1,2
29	6,6		10,1	15,1	15,1	28,4	24,7	13,0	16,8	3,8	1,4	4,9
30	7,0		12,2	18,4	13,9	26,0	24,9	16,0	12,0	3,4	3,9	6,8
31	0,2		14,6		12,7		24,7	17,2		6,4		5,4
ZBROJ	95,5	148,8	178,3	270,8	442,5	667,5	724,5	638,5	479,5	283,5	183,2	99,3
SRED	3,1	5,3	5,8	9,0	14,3	22,2	23,4	20,6	16,0	9,1	6,1	3,2
MAKS	14,0	14,0	14,6	18,4	19,8	28,7	28,0	27,0	22,3	19,0	14,2	10,9
MIN	-2,5	-6,4	-0,1	1,4	8	13,8	19,6	13	10	3,4	0	-1,5
AMPL	16,5	20,4	14,7	17	11,8	14,9	8,4	14	12,3	15,6	14,2	12,4

Izvor: Državni hidrometeorološki zavod RH (2021.)

Tablica 2. Usporedba srednjih mjesečnih temperatura u razdoblju tridesetogodišnjem razdoblju (1991.- 2020.) i 2021. godine

Mjesec/godina	1991. - 2020.	2021.	Razlika +/-
Siječanj	1,1	3,1	2,0
Veljača	2,6	5,3	2,7
Ožujak	6,8	5,8	-1,0
Travanj	11,6	9,0	-2,6
Svibanj	16,1	14,3	-1,8
Lipanj	20,1	22,2	2,1
Srpanj	21,6	23,4	1,8
Kolovoz	21,0	20,6	-0,4
Rujan	15,9	16,0	0,1
Listopad	11,2	9,2	-2,0
Studeni	6,6	6,1	-0,5
Prosinac	1,9	3,2	1,3

Izvor: Državni hidrometeorološki zavod RH (2021.)



Grafikon 1. Odstupanje srednjih mjesečnih temperatura u 2021. godini od tridesetogodišnjeg prosjeka (1991.-2020.)

Tablica 3. prikazuje dnevne oborine za 2021. godinu. Svibanj je bio mjesec sa najviše oborina u 2021. godini s ukupno 111,8 mm oborina. Drugi po količini oborina bio je prosinac kada je zabilježeno 97,2 mm, a tijekom tog mjeseca evidentirana je i najveća dnevna količina oborina u godini – 38,7 mm, 3. prosinca. Među najsušnijim mjesecima ističe se lipanj s ukupno 27,7 mm oborina raspoređenih kroz svega četiri dana. Drugi mjesec s najmanjom količinom oborina bio je kolovoz u kojem je zabilježeno 47,8 mm oborina, iako je tijekom tog mjeseca bilo čak 11 dana s oborinama koje su međutim bile niskog intenziteta. Na tablici 4. prikazan je odnos mjesečnih oborina i višegodišnjeg prosjeka. Ukupna količina oborina u 2021. godini iznosila je 798,9 mm, što je značajno manje u odnosu na tridesetogodišnji klimatski prosjek za razdoblje 1991. – 2020., koji iznosi 923,2 mm. Na grafikonu 2. prikazan je odnos srednjih mjesečnih temperatura tijekom ove godine i višegodišnjeg prosjeka. S ovog grafikona jasno je vidljiv nedostatak oborina u vegetacijskom razdoblju. Navedeno potvrđuje Walterov klimadijagram (grafikon 3.) za 2021. godinu.

Tablica 3. Pregled dnevnih oborina za Daruvar tijekom 2021. godine

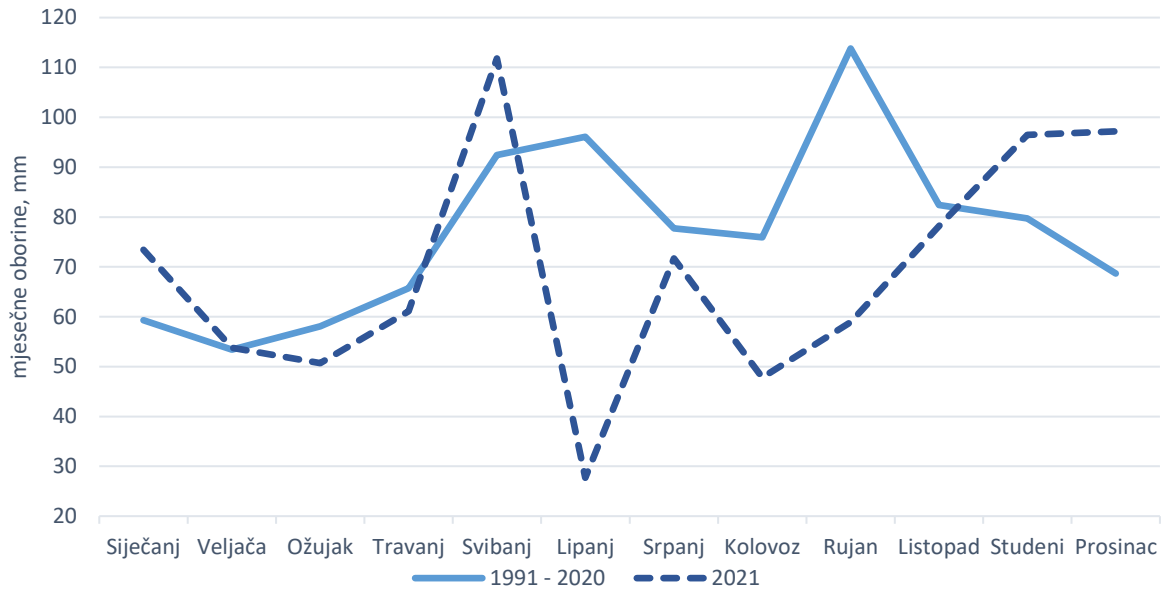
2021.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
1	4,8	12,1			0,6	7,0			1,1	1,3		
2								2,6			8,8	
3	3,5			20,5	0,7			0,9			2,0	38,7
4	3,1			1,1	0,8			0,1			11,5	
5				0,0			8,8	1,0			6,9	3,3
6	4,7		11,6	0,6	8,7	0,9		12,8		0,7	0,2	5,5
7	0,2			2,8	0,0	19,1				20,4	0,3	0,1
8	0,0	8,1			19,7					6,1	0,1	
9	4,6	10,0								0,0	2,1	1,3
10		7,1								1,5		6,3
11	7,1	14,0								20,2		
12	0,4	0,2			5,1		0,2			4,5	0,2	0,2
13			18,5	0,5	2,4	0,7					0,0	
14				15,5						2,3	0,9	0,9
15	1,0		16,9	2,7	4,4		0,5				1,4	0,2
16	0,0				0,3							0,6
17	0,1				2,6		31,7		0,2			0,1
18		2,3	0,1	0,2	2,7		10,0		9,6			
19				5,0	9,3		12,2					
20				4,4	22,5		8,3		11,1			
21			1,4		4,8				0,2			
22			0,8							7,7		
23	0,5			0,3	0,4				0,1	13,5	8,6	
24	9,9							6,4				
25	25,5				0,5							
26											3,1	18,3
27	0,0			1,0				11,8			13,9	12,3
28	0,0		1,1	6,5	26,3		0,0	0,1	0,2		7,2	0,5
29	0,0		0,0					0,9	1,0		29,3	8,2
30	1,3							10,1	5,4			0,1
31	6,7		0,3					1,1				0,6
ZBROJ	73,4	53,8	50,7	61,1	111,8	27,7	71,7	47,8	28,9	78,2	96,5	97,2
MAKS	25,5	14,0	18,5	20,5	26,3	19,1	31,7	12,8	11,1	20,4	29,3	38,7

Izvor: Državni hidrometeorološki zavod (2021.)

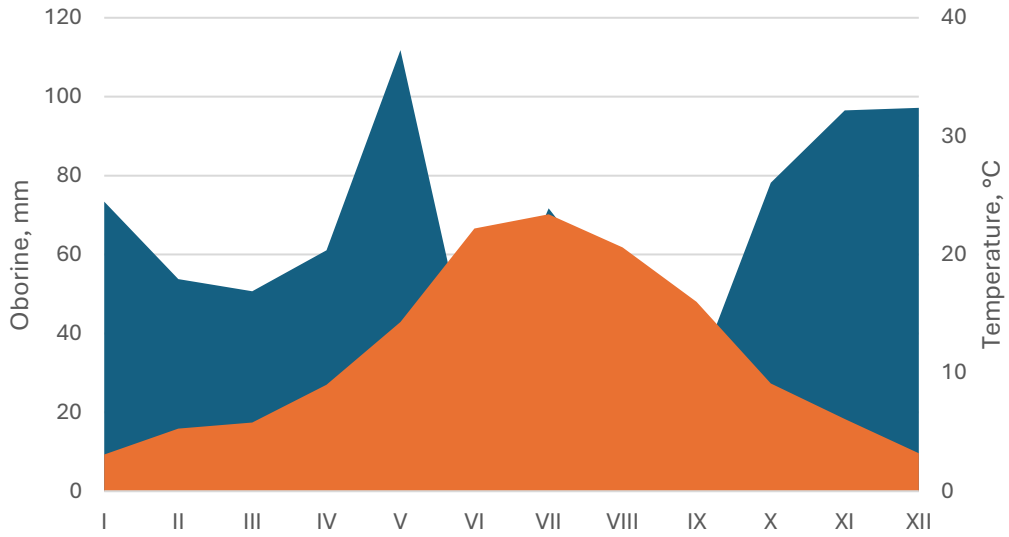
Tablica 4. Usporedba mjesečnih oborina u tridesetogodišnjem razdoblju (1991.- 2020.) sa 2021. godinom

Mjesec/godina	1991. - 2020.	2021.	Razlika, +/-
Siječanj	59,3	73,4	14,1
Veljača	53,4	53,8	0,4
Ožujak	58,1	50,7	-7,4
Travanj	65,7	61,1	-4,6
Svibanj	92,4	111,8	19,4
Lipanj	96,1	27,7	-68,4
Srpanj	77,7	71,7	-6,0
Kolovoz	75,9	47,8	-28,1
Rujan	113,8	58,9	-54,9
Listopad	82,4	78,2	-4,2
Studeni	79,7	96,5	16,8
Prosinac	68,7	97,2	28,5

Izvor: Državni hidrometeorološki zavod RH (2021.)



Grafikon 2. Odstupanje srednjih mjesečnih oborina u 2021. godini



Grafikon 3. Walterov klimadijagram za Daruvar za 2021.godinu.
Plavom bojom je označen mjesečni višak vode, dok je narandžastom bojom označen mjesečni manjak.

Na temelju grafikona 3. može se zaključiti da je kukuruz u 2021. godini bio izložen izraženom nedostatku vlage u razdoblju od sredine svibnja do sredine rujna, uz izuzetak nekoliko dana u srpnju kada je zabilježena povećana količina oborina. S obzirom na navedene klimatske uvjete, 2021. godina ne može se smatrati osobito povoljnom za uzgoj poljoprivrednih usjeva, osobito jarina. Takvi vremenski uvjeti, osobito tijekom kritičnih faza razvoja kukuruza, zasigurno su negativno utjecali na rast i razvoj kukuruza, što se odrazilo i na ostvareni prinos ove kulture unutar provedenog istraživanja.

4.2. Klimatske značajke 2022. godine

Iz Tablice 5. vidljivo je da je u 2022. godini najhladniji mjesec bio siječanj, sa srednjom mjesečnom temperaturom od 1,3 °C. U tom je mjesecu zabilježena i najniža srednja dnevna temperatura u godini, i to - 6,5 °C, 24. siječnja. Drugi najhladniji mjesec bio je ožujak, sa srednjom mjesečnom temperaturom od 4,7 °C, kada je 12. ožujka izmjerena i druga najniža srednja dnevna temperatura, od –1,8 °C.

Tablica 5. Srednje dnevne temperature za Daruvar tijekom 2022. godine

2022.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
1	5,4	0,8	0,4	9,4	16,0	20,8	27,6	23,8	15,5	16,9	12,8	5,1
2	5,0	2,6	-0,6	2,0	14,7	22,8	22,7	21,6	17,3	15,8	13,8	3,7
3	6,8	3,0	0,2	2,3	12,6	23,0	24,9	24,2	17,6	12,9	12,6	4,3
4	12,1	7,6	1,9	4,6	15,9	23,6	27,2	24,8	18,9	10,3	12,3	4,1
5	10,6	6,8	3,3	10,1	16,9	25,8	23,4	27,2	18,6	12,8	9,7	5,1
6	1,8	6,4	1,2	12,9	15,8	20,2	23,8	25,5	20,8	14,8	8,6	6,7
7	-1,8	4,9	1,6	13,0	16,2	21,9	19,0	22,8	21,8	14,4	10,9	4,6
8	-2,3	4,2	0,0	16,2	17,8	18,0	19,0	23,8	22,4	14,2	7,9	5,0
9	-1,2	4,9	2,7	7,8	15,0	19,1	19,0	21,6	20,4	13,8	13,1	10,2
10	0,5	6,2	-0,1	7,1	16,2	18,9	19,0	20,2	18,8	14,6	10,7	4,6
11	-0,2	8,3	-1,6	6,6	19,2	20,7	17,6	20,4	16,8	14,9	8,0	1,4
12	-1,7	1,8	-1,8	10,4	21,4	20,2	18,9	21,5	15,9	14,0	5,6	-1,6
13	-2,3	0,7	1,3	11,8	23,0	21,9	21,5	19,2	18,7	12,6	7,2	-0,8
14	2,0	6,6	4,2	12,3	19,2	19,4	24,1	22,3	22,4	12,2	6,6	0,5
15	0,0	9,5	9,0	14,2	19,5	20,6	24,1	23,6	21,0	12,8	8,1	3,2
16	-0,5	6,4	9,7	10,2	21,3	23,0	23,6	23,6	15,3	13,8	10,3	6,2
17	2,6	8,7	6,1	7,1	18,0	20,8	21,6	25,7	10,7	13,0	8,2	2,2
18	1,9	9,3	2,8	5,2	15,0	20,3	21,5	27,7	13,4	12,4	9,6	-0,6
19	1,6	8,6	3,0	6,9	16,0	22,0	23,8	22,6	12,5	11,8	6,0	-0,7
20	3,6	5,0	2,6	6,8	21,1	25,5	25,5	19,6	10,7	10,2	4,6	-0,2
21	-0,2	5,7	2,1	9,9	22,6	24,2	25,8	20,9	9,9	13,4	3,4	2,6
22	-0,2	4,5	4,5	12,3	20,0	23,6	27,7	16,6	9,0	15,0	4,4	9,0
23	-0,4	5,2	7,8	12,6	20,8	22,4	28,4	17,6	9,4	16,7	3,6	9,2
24	-6,5	7,2	8,4	14,8	23,4	24,5	25,2	20,6	13,4	15,7	4,8	8,1
25	-6,1	4,1	8,1	14,2	20,6	24,7	25,7	21,6	16,5	12,7	4,1	8,9
26	-1,8	4,0	8,8	14,4	20,0	25,0	22,0	22,8	14,5	11,8	4,5	13,3
27	-1,0	1,7	10,6	10,6	22,4	27,0	24,1	24,6	14,2	12,2	4,2	8,8
28	3,6	0,1	11,1	12,6	12,6	27,9	23,2	21,6	15,0	11,8	3,2	3,9
29	3,0		14,4	12,6	11,6	28,4	24,8	21,6	15,0	11,3	2,8	11,6
30	4,6		11,9	12,8	13,4	27,0	20,4	21,4	17,3	11,2	4,2	12,0
31	1,2		11,0		17,0		21,6	20,3		11,3		12,4
ZBROJ	40,1	144,8	144,6	303,7	555,2	683,2	716,7	691,3	483,7	411,3	225,8	162,8
SRED	1,3	5,2	4,7	10,1	17,9	22,8	23,1	22,3	16,1	13,3	7,5	5,3
MAKS	12,1	9,5	14,4	16,2	23,4	28,4	28,4	27,7	22,4	16,9	13,8	13,3
MIN	-6,5	0,1	-1,8	2	11,6	18	17,6	16,6	9	10,2	2,8	-1,6
AMPL	18,6	9,4	16,2	14,2	11,8	10,4	10,8	11,1	13,4	6,7	11	14,9

Izvor: Državni hidrometeorološki zavod RH (2022.)

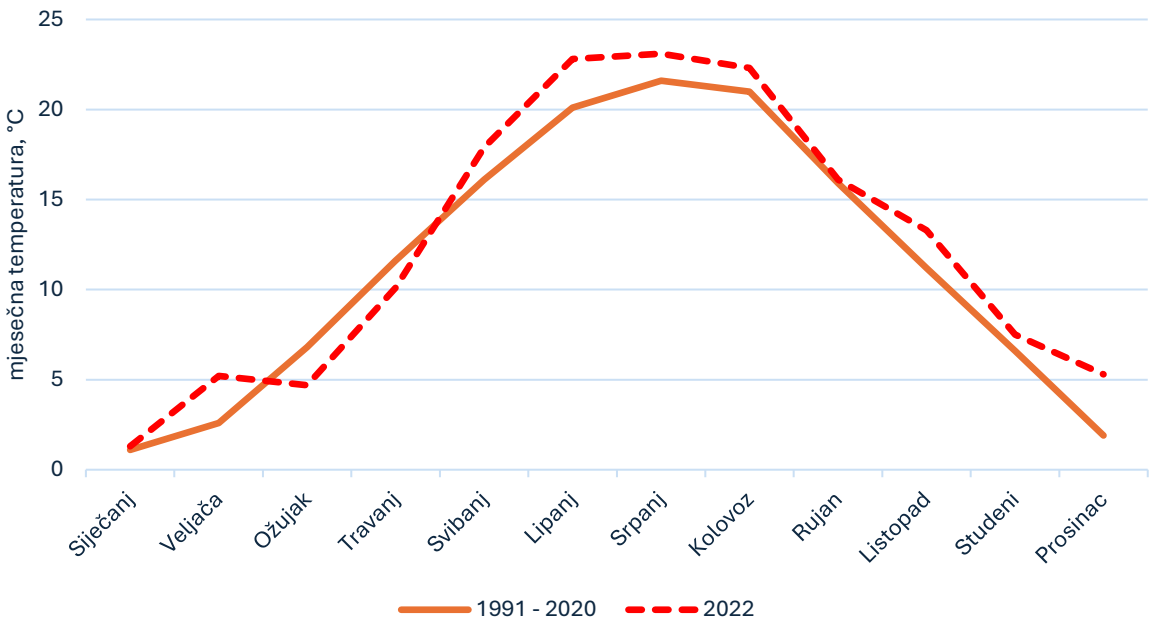
S druge strane, najtopliji mjesec u 2022. godini bio je srpanj, sa srednjom mjesečnom temperaturom od 23,1 °C. Odmah nakon njega slijedi lipanj, sa srednjom

mjesečnom temperaturom od 22,8 °C. U oba mjeseca zabilježene su i najviše srednje dnevne temperature u godini, koje su iznosile 28,4 °C, 29. lipnja i 23. srpnja. Ovi temperaturni ekstremi dodatno potvrđuju klimatske nepravilnosti koje su obilježile 2022. godinu čime su dodatno otežani uvjeti za rast i razvoj soje. Usporedba srednjih mjesečnih temperatura u tridesetogodišnjem razdoblju (1991. - 2020.) i 2022. godine prikazana je u tablici 6. Iz dostupnih podataka (tablica 6. i grafikon 4.) vidljivo je da su tijekom gotovo svih mjeseci u 2022. godini, s izuzetkom ožujka i travnja, zabilježene značajno više srednje mjesečne temperature u odnosu na tridesetogodišnji klimatski prosjek. Ova temperaturna odstupanja ukazuju na dodatne stresne uvjete za uzgajani usjev (soju), budući da su povišene temperature osobito u kombinaciji s manjkom oborina u vegetacijskom razdoblju, negativno utjecale na fiziološke procese, rast i razvoj, te nalijevanje sjemena soje. Sukladno tome može se zaključiti da ni temperaturni uvjeti u 2022. godini nisu bili povoljni za biljnu proizvodnju jer su biljke bile prisiljene prilagođavati se toplinskom stresu, što je zasigurno utjecalo i na konačnu visinu prinosa.

Tablica 6. Usporedba srednjih mjesečnih temperatura u razdoblju tridesetogodišnjem razdoblju (1991.-2020.) i 2022. godine

Mjesec/godina	1991. - 2020.	2022.	Razlika, +/-
Siječanj	1,1	1,3	0,2
Veljača	2,6	5,2	2,6
Ožujak	6,8	4,7	-2,1
Travanj	11,6	10,1	-1,5
Svibanj	16,1	17,9	1,8
Lipanj	20,1	22,8	2,7
Srpanj	21,6	23,1	1,5
Kolovoz	21,0	22,3	1,3
Rujan	15,9	16,1	0,2
Listopad	11,2	13,3	2,1
Studeni	6,6	7,5	0,9
Prosinac	1,9	5,3	3,4

Izvor: Državni hidrometeorološki zavod RH (2022.)



Grafikon 4. Odstupanje srednjih mjesečnih temperatura u 2022. godini od tridesetogodišnjeg prosjeka (1991.-2020.)

U tablici 7. prikazan je pregled dnevnih oborina za 2022. godinu. Podaci iz tablice 7. ukazuju da je mjesec rujan bio mjesec s najviše oborina u promatranom razdoblju, s ukupno 286,3 mm oborina. Tijekom tog mjeseca zabilježen je i dan s najvećom količinom oborina u 2022. godini, i to 16. rujna kada je palo 79,4 mm. Drugi po količini oborina bio je mjesec studeni s ukupno 115,0 mm oborina. S druge strane, među najsušnijim mjesecima izdvajaju se ožujak i listopad. U ožujku je zabilježeno svega 12,5 mm oborina, raspoređenih kroz četiri dana s oborinama, dok je u listopadu ukupna količina oborina iznosila 14,8 mm. Ukupna godišnja količina oborina u 2022. godini iznosila je 891,6 mm, što je manje u usporedbi s tridesetogodišnjim klimatskim prosjekom za razdoblje 1991. - 2020., koji iznosi 923,2 mm.

S obzirom na količine oborina, iz dostupnih podataka (tablica 8. i grafikon 5.) uočava se značajno odstupanje tijekom proljetnih i ljetnih mjeseci, konkretno od travnja do kolovoza, kada je u 2022. godini zabilježeno znatno manje oborina u usporedbi s tridesetogodišnjim klimatskim prosjekom. Ova sušna razdoblja negativno su utjecala na rast i razvoj soje, osobito tijekom fenofaza koje zahtijevaju veći vodni doprinos. Suprotno tomu, u rujnu je zabilježen izražen višak oborina u odnosu na višegodišnji prosjek, dok su u studenom i prosincu također uočene povećane količine oborina, iako u manjem intenzitetu.

Tablica 7. Pregled dnevnih oborina za Daruvar tijekom 2022. godine

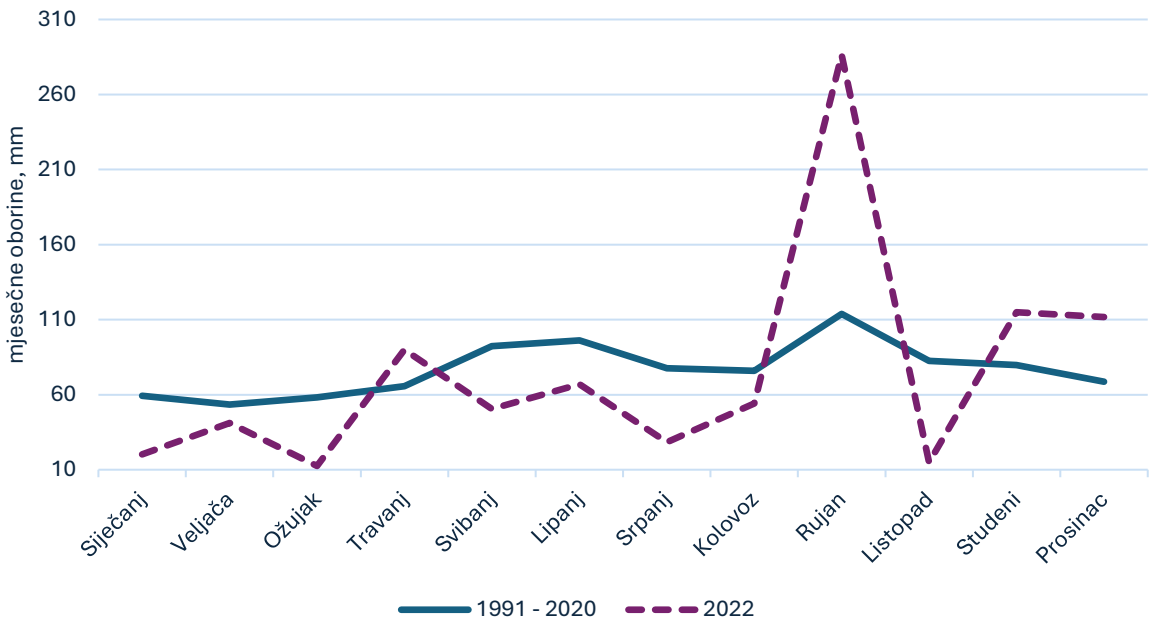
2022.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
1		10,0	7,3	26,8					12,4	0,4		3,9
2				9,9			2,5		0,7	3,6		4,2
3				7,9		7,2		1,2				0,9
4				0,8		0,5						0,4
5									4,3		12,2	4,7
6	12,2					9,9					6,4	5,3
7			0,0	0,0	0,3		0,0				0,8	0,1
8		4,7		0,4		30,7	16,7					1,4
9							0,1	3,4	7,5			0,9
10	0,0			10,5		12,2		0,0	12,6			15,3
11	0,0				0,4	3,0	2,9		1,6		0,6	47,0
12	0,1								10,1			1,0
13								3,2			0,2	0,3
14						3,0		9,6				
15											1,2	0,0
16		7,2		0,4			3,3		79,4		0,3	5,0
17			0,0	0,6		0,1	0,1		53,0		17,0	19,2
18					8,0				23,1		16,5	0,0
19									4,8		25,3	
20		12,8		15,0				8,4	5,9		11,8	
21	3,4	0,0		0,2				15,2	0,7		3,3	
22		2,6		3,3	3,7			0,5				
23	0,0	0,4		4,2				8,9		4,4	14,9	0,3
24	4,6					0,3		0,3		0,2	4,5	
25				8,7			0,0	2,6				0,2
26		1,5			4,0				19,5	6,1		
27		0,0		0,3			2,1		18,1			1,3
28		1,9		0,9	1,6		0,0		6,2	0,1		
29					19,6			0,8	11,2	0,0		
30					5,4		0,6		15,2			
31			5,2		7,5		0,1					0,4
ZBROJ	20,3	41,1	12,5	89,9	50,5	66,9	28,4	54,1	286,3	14,8	115,0	111,8
MAKS	12,2	12,8	7,3	26,8	19,6	30,7	16,7	15,2	79,4	6,1	25,3	47,0

Izvor: Državni hidrometeorološki zavod (2022.)

Tablica 8. Usporedba mjesečnih oborina u tridesetogodišnjem razdoblju (1991.- 2020.) sa 2022. godinom

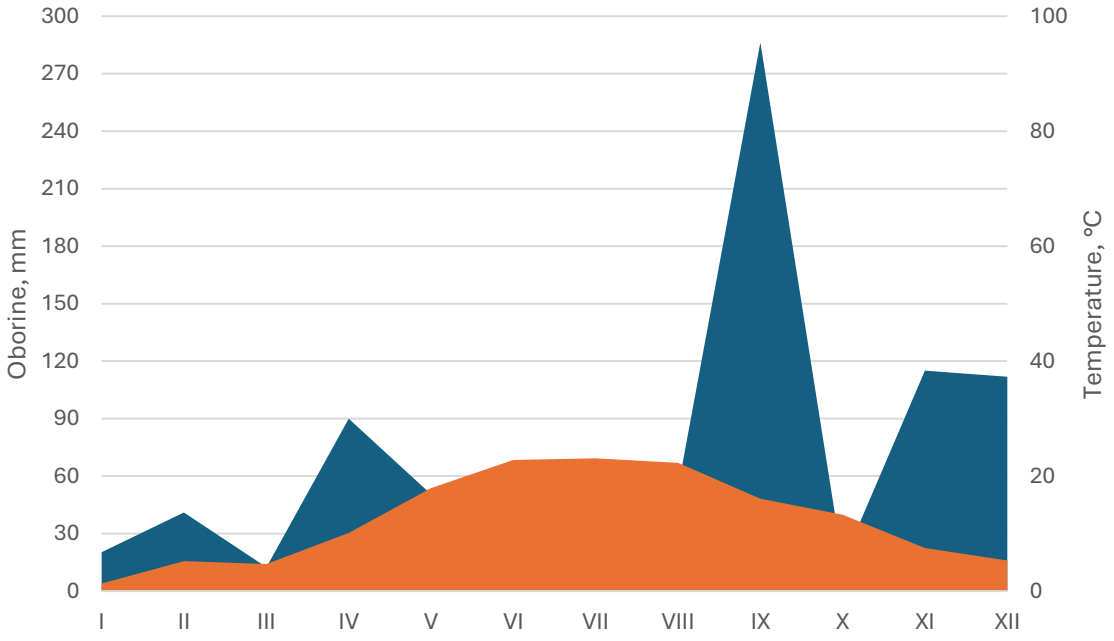
Mjesec/godina	1991. - 2020.	2022.	Razlika, +/-
Siječanj	59,3	20,3	-39,0
Veljača	53,4	41,1	-12,3
Ožujak	58,1	12,5	-45,6
Travanj	65,7	89,9	24,2
Svibanj	92,4	50,5	-41,9
Lipanj	96,1	66,9	-29,2
Srpanj	77,7	28,4	-49,3
Kolovoz	75,9	54,1	-21,8
Rujan	113,8	286,3	172,5
Listopad	82,4	14,8	-67,6
Studeni	79,7	115,0	35,3
Prosinac	68,7	111,8	43,1

Izvor: Državni hidrometeorološki zavod RH (2022.)



Grafikon 5. Odstupanje srednjih mjesečnih oborina u 2022. godini od tridesetogodišnjeg prosjeka (1991.-2020.)

Klimadijagram prema Walteru za 2022. godinu prikazan je na grafikonu 6. Kao i na grafikonu 5. i Walterov dijagram potvrđuje nedostatak oborina u lipnju i srpnju, te ekstremni višak oborina u rujnu.



Grafikon 6. Walterov klimadijagram za Daruvar za 2022.godinu.
Plavom bojom je označen mjesečni višak vode, dok je narandžastom bojom označen mjesečni manjak vode.

4.3. Klimatske značajke 2023. godine

Analizom temperaturnih podataka za 2023. godinu (Tablica 9.) uočava se da je najhladniji mjesec bio veljača s prosječnom mjesečnom temperaturom od 3,6 °C. Drugi najhladniji mjesec bio je prosinac s prosječnom mjesečnom temperaturom od 4,7 °C. Najtopliji mjesec bio je srpanj u kojem je prosječna mjesečna temperatura iznosila 23,2 °C, dok je kolovoz bio drugi najtopliji mjesec s prosječnom temperaturom od 21,9 °C. Najviša srednja dnevna temperatura od 28,5 °C izmjerena je 17. kolovoza. U tablici 10. prikazana je usporedba srednjih mjesečnih temperatura u tridesetogodišnjem razdoblju (1991. - 2020.) i 2023. godine.

Tablica 9. Srednje dnevne temperature za Daruvar tijekom 2023. godine

2023.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
1	13,2	3,4	3,4	9,8	14,2	18,2	21,6	20,7	18,4	15,0	12,3	7,8
2	12,1	4,0	4,9	10,7	14,3	18,6	22,9	22,1	20,6	16,4	15,7	2,3
3	11,6	5,4	5,9	6,1	13,5	18,6	23,6	26,1	19,7	18,0	13,8	-1,2
4	8,3	2,8	3,3	3,7	14,4	21,1	20,8	21,4	18,6	15,3	10,6	-1,0
5	8,8	-0,4	4,3	2,4	16,8	18,3	23,4	19,0	17,8	12,6	15,0	1,6
6	6,4	-3,6	6,4	4,3	17,6	18,0	22,1	16,6	18,5	13,8	12,9	0,6
7	5,4	-4,0	10,1	7,0	20,0	19,1	20,8	16,5	18,8	13,4	11,7	1,0
8	12,2	-3,0	12,6	7,2	13,6	19,9	22,5	17,2	18,8	17,4	8,5	-0,3
9	9,6	-2,9	13,4	5,2	11,6	20,2	22,9	18,2	19,4	15,3	9,4	-1,1
10	6,6	-3,2	11,6	7,4	14,2	20,6	25,3	19,0	20,4	15,9	10,4	0,8
11	1,8	0,6	6,9	10,2	13,0	18,8	26,6	17,5	20,4	15,5	6,6	7,3
12	2,4	4,1	4,0	10,0	14,3	18,2	26,6	19,4	20,8	16,8	7,0	8,0
13	4,4	2,1	10,3	10,2	13,6	17,9	24,0	21,0	23,2	17,8	10,8	8,8
14	4,0	2,8	14,4	8,2	13,4	19,6	22,5	21,8	19,6	19,1	16,4	5,3
15	7,6	3,4	6,8	9,2	14,8	18,7	25,4	23,5	19,3	10,2	10,6	4,1
16	6,2	3,4	3,4	8,9	14,5	19,2	27,1	22,1	18,8	6,7	10,6	0,5
17	6,7	9,2	5,0	11,4	11,5	19,3	28,5	22,2	19,8	6,6	7,2	1,0
18	7,2	11,0	7,4	11,3	10,7	22,4	25,7	22,7	23,2	9,1	2,2	2,4
19	1,8	9,3	11,6	10,6	14,0	23,7	24,0	23,2	18,8	18,5	6,0	2,4
20	-0,2	8,4	10,3	11,7	20,2	25,6	23,3	25,2	20,7	24,7	8,0	3,7
21	0,6	9,8	11,7	12,5	20,0	26,6	22,7	24,8	20,4	16,6	8,4	7,0
22	0,8	7,8	13,1	13,2	18,8	27,7	21,3	25,3	23,6	15,5	5,6	5,6
23	4,0	8,5	12,7	15,5	19,8	24,6	22,7	26,1	17,4	14,8	3,6	4,2
24	4,2	11,4	16,8	13,5	19,6	19,8	26,2	25,4	13,0	16,9	6,2	9,0
25	2,4	6,6	8,8	12,8	19,0	19,8	23,7	26,2	15,2	17,8	1,2	11,6
26	1,3	1,0	12,0	11,8	20,0	21,8	16,8	26,5	18,0	18,4	-0,4	9,4
27	0,5	0,6	7,0	11,2	17,2	19,8	17,7	26,7	16,8	15,6	4,4	5,3
28	0,6	1,4	4,0	14,3	18,4	17,2	22,2	25,3	16,3	15,2	5,8	8,4
29	0,6		7,0	16,3	19,0	20,2	22,9	21,3	16,1	17,7	0,6	10,0
30	0,6		14,4	13,7	17,0	22,2	21,5	18,6	17,2	19,8	2,7	9,2
31	2,7		13,9		17,6		20,9	16,6		14,6		11,2
ZBROJ	154,4	99,9	277,4	300,3	496,6	615,7	718,2	678,2	569,6	481,0	243,8	144,9
SRED	5,0	3,6	8,9	10,0	16,0	20,5	23,2	21,9	19,0	15,5	8,1	4,7
MAKS	13,2	11,4	16,8	16,3	20,2	27,7	28,5	26,7	23,6	24,7	16,4	11,6
MIN	-0,2	-4	3,3	2,4	10,7	17,2	16,8	16,5	13	6,6	-0,4	-1,2
AMPL	13,4	15,4	13,5	13,9	9,5	10,5	11,7	10,2	10,6	18,1	16,8	12,8

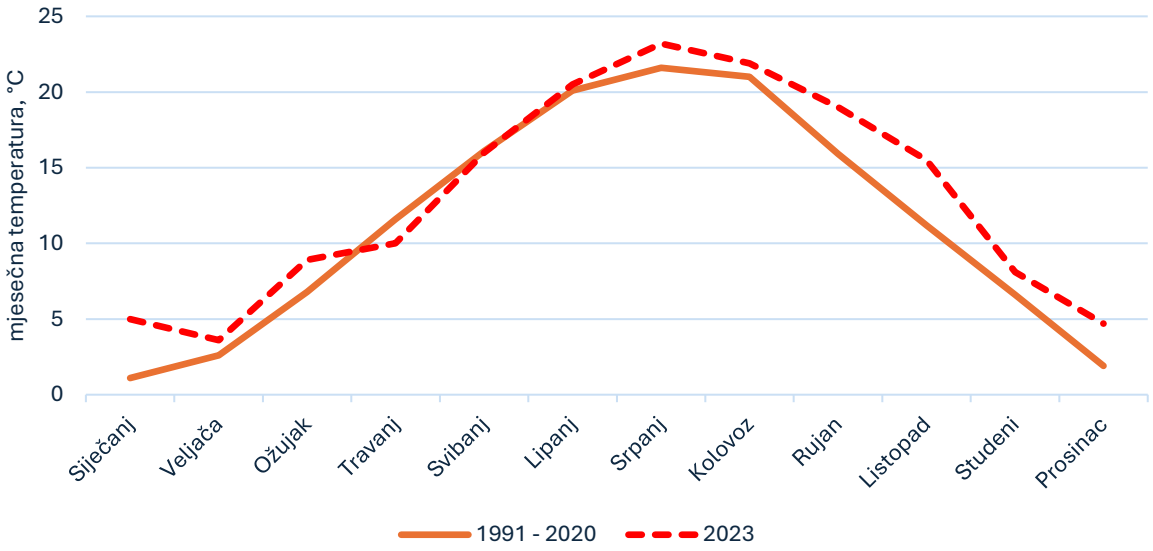
Izvor: Državni hidrometeorološki zavod RH (2023.)

Tablica 10. Usporedba srednjih mjesečnih temperatura u tridesetogodišnjem razdoblju (1991. - 2020.) i 2023. godine

Mjesec/godina	1991. – 2020.	2023.	Razlika, +/-
Siječanj	1,1	5,0	3,9
Veljača	2,6	3,6	1,0
Ožujak	6,8	8,9	2,1
Travanj	11,6	10,0	-1,6
Svibanj	16,1	16,0	-0,1
Lipanj	20,1	20,5	0,4
Srpanj	21,6	23,2	1,6
Kolovoz	21,0	21,9	0,9
Rujan	15,9	19,0	3,1
Listopad	11,2	15,5	4,3
Studeni	6,6	8,1	1,5
Prosinac	1,9	4,7	2,8

Izvor: Državni hidrometeorološki zavod RH (2023.)

Grafikon 7. prikazuje odstupanje mjesečnih temperatura od višegodišnjeg prosjeka. Iz analiziranih podataka uočljivo je da su tijekom 2023. godine, osim u mjesecu travnju, zabilježene značajno više temperature u odnosu na tridesetogodišnji prosjek.



Grafikon 7. Odstupanje srednjih mjesečnih temperatura u 2023. godini od tridesetogodišnjeg prosjeka (1991. – 2020.)

Iz prikazanih podataka (tablica 11.) evidentno je da je svibanj bio mjesec s najvećom količinom oborina, pri čemu je zabilježeno čak 172,3 mm oborina. Slijedi studeni s ukupno 145,2 mm oborina. Najviša dnevna količina oborina, 38,6 mm, izmjerena je 12. lipnja. S druge strane, mjeseci s najmanjom količinom oborina bili su veljača, sa 47,3 mm, te ožujak, sa 64,9 mm. Ukupna godišnja količina oborina u 2023.

godini iznosila je 1117,0 mm, što predstavlja značajno povećanje u odnosu na tridesetogodišnji prosjek za razdoblje 1991. – 2020., koji iznosi 923,2 mm.

Tablica 11. Pregled dnevnih oborina za Daruvar tijekom 2023. godine

2023.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
1				22,9		0,8			3,1		7,4	0,3
2			2,3	1,7		0,2		9,6				
3		1,6	0,3	2,8	5,4	3,6						10,9
4		0,3	0,0		33,5		0,1				28,4	
5		0,0				0,2	6,4	32,0			0,0	
6		0,0				12,9		4,8			7,7	30,8
7			1,8			11,1		17,8			1,3	6,7
8			0,4		28,6			0,0			10,0	
9	1,5	0,0		0,6	0,0	2,0						
10	37,2							0,1		0,0	0,0	10,1
11	6,6		18,8		1,6						16,4	5,7
12	0,9		4,1		12,7	38,6					10,5	5,4
13	0,7				5,0		0,0					0,5
14	5,7			1,0	9,0		19,2					28,6
15			5,7	3,9	37,1					3,4	3,6	0,9
16	0,3			6,9	4,0					8,5		
17	11,7			5,1	14,1							
18	19,5			9,3	0,9						1,8	
19	13,7			1,0	0,2		3,2			0,0		
20	5,3		0,2				10,5		0,1			
21	3,0		1,9							18,4	19,1	
22	12,8						4,3		0,2	26,6	12,7	1,5
23	6,7						10,9		24,3		0,8	1,4
24	7,2			0,0		7,7			31,2	0,0		
25	1,6	1,5	1,4	12,4					13,2	0,2	4,8	
26		29,7	8,4	0,0			15,3			0,0	2,9	
27	0,9	12,6	11,9		6,7		5,7			0,7	0,0	
28	1,8	1,6	7,7		10,9	6,3				10,9	1,4	
29	0,0			0,2		1,6		2,4			16,4	
30				0,0				0,4				
31					2,6		2,8	8,3				
ZBROJ	137,1	47,3	64,9	67,8	172,3	85,0	78,4	75,4	72,1	68,7	145,2	102,8
MAKS	37,2	29,7	18,8	22,9	37,1	38,6	19,2	32,0	31,2	26,6	28,4	30,8

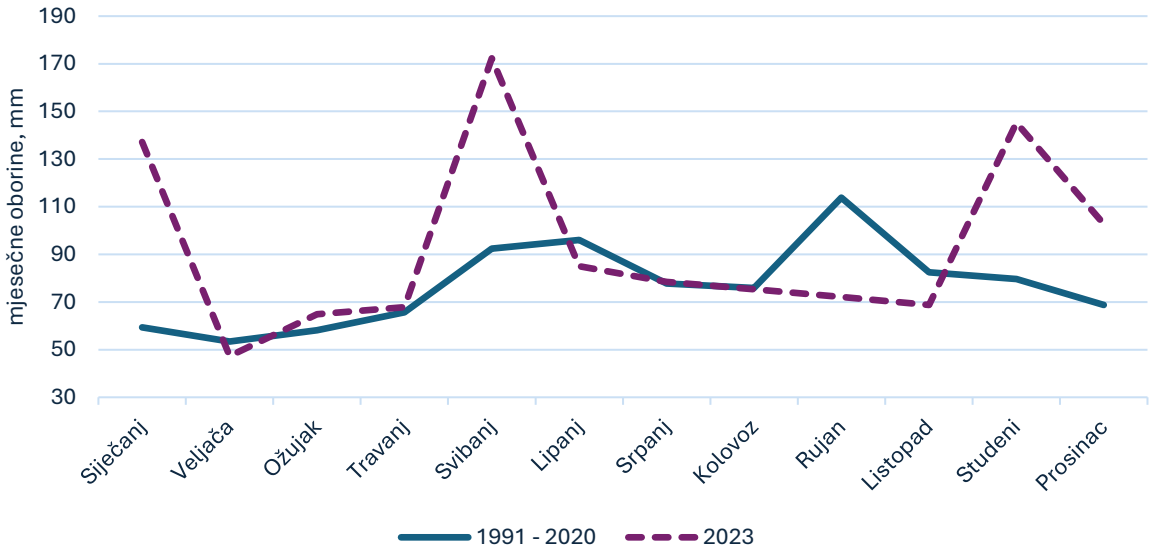
Izvor: Državni hidrometeorološki zavod RH (2023.)

Analiza oborinskih podataka za 2023. godinu (tablica 12. i grafikon 8.) ukazuje na značajna odstupanja u zimskim mjesecima, posebice u siječnju, studenom i prosincu, kao i u svibnju, kada je zabilježena znatno veća količina oborina u odnosu na tridesetogodišnji prosjek. Nasuprot tome, u mjesecima rujnu i listopadu zabilježen je manjak oborina u usporedbi s višegodišnjim prosjekom. Klimadijagram prema Walteru (grafikon 9.) potvrđuje navedeno - ekstremni višak oborina u svibnju i lipnju.

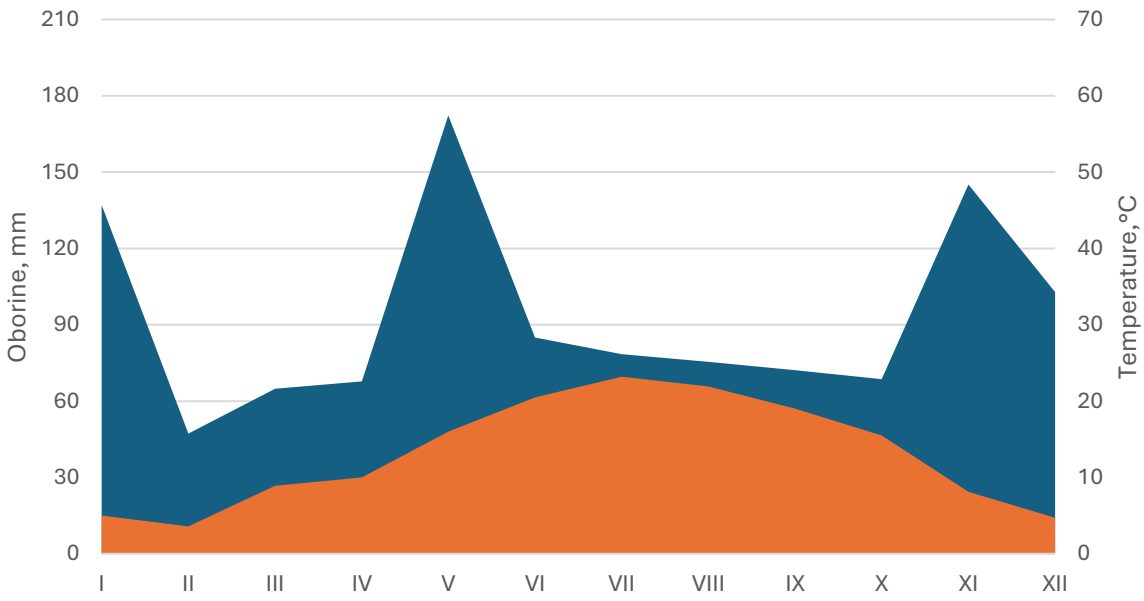
Tablica 12. Usporedba mjesečnih oborina u tridesetogodišnjem razdoblju (1991.-2020.) s 2023. godinom

Mjesec/godina	1991. – 2020.	2023.	Razlika, +/-
Siječanj	59,3	137,1	77,8
Veljača	53,4	47,3	-6,1
Ožujak	58,1	64,9	6,8
Travanj	65,7	67,8	2,1
Svibanj	92,4	172,3	79,9
Lipanj	96,1	85,0	-11,1
Srpanj	77,7	78,4	0,7
Kolovoz	75,9	75,4	-0,5
Rujan	113,8	72,1	-41,7
Listopad	82,4	68,7	-13,7
Studeni	79,7	145,2	65,5
Prosinac	68,7	102,8	34,1

Izvor: Državni hidrometeorološki zavod RH (2023.)



Grafikon 8. Odstupanje srednjih mjesečnih oborina u 2023. godini od tridesetogodišnjeg prosjeka (1991.- 2020.)



Grafikon 9. Walterov klimadijagram za Daruvar za 2023.godinu.
Plavom bojom je označen mjesečni višak vode, dok je narandžastom bojom označen mjesečni manjak.

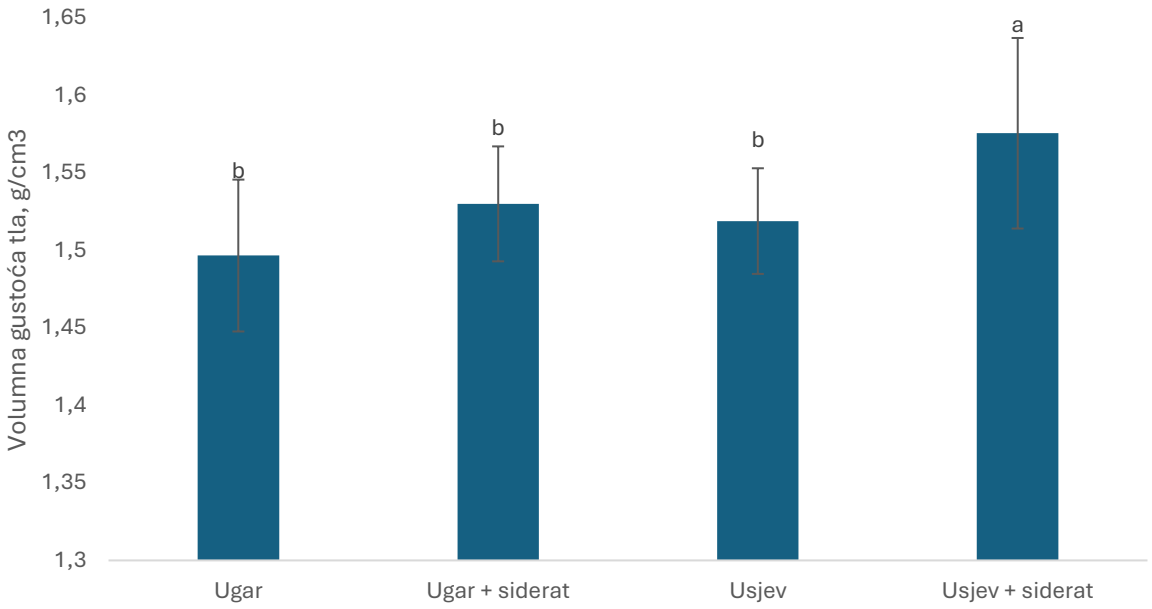
5. REZULTATI

5.1. Nulta godina istraživanja (2020.)

5.1.1. Fizikalne značajke tla

5.1.1.1. Volumna gustoća tla

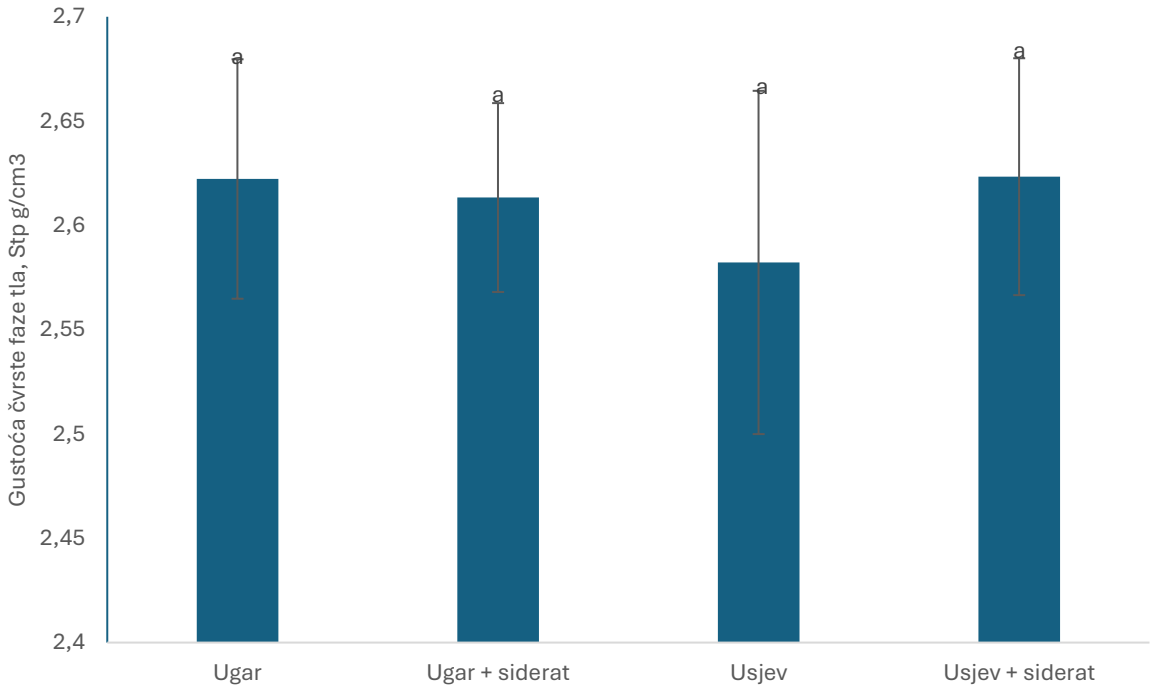
Grafikon 10. prikazuje rezultate analize volumne gustoće tla u nultoj godini istraživanja. Značajno viša vrijednost volumne gustoće tla zabilježena je na tretmanu „usjev + siderat“ (1,58 g/cm^3) u odnosu na ostale tretmane.



Grafikon 10. Volumna gustoća u nultoj godini istraživanja.
Različita mala slova između tretmana označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.1.1.2. Gustoća čvrste faze tla

Grafikon 11. prikazuje analizu početnih uzoraka tla koja ukazuje da nema statistički značajnih razlika u gustoći čvrste faze tla (Stp) između istraživanih tretmana. Vrijednosti gustoće čvrste faze tla se kreću između 2,58 do 2,62 g/cm^3.

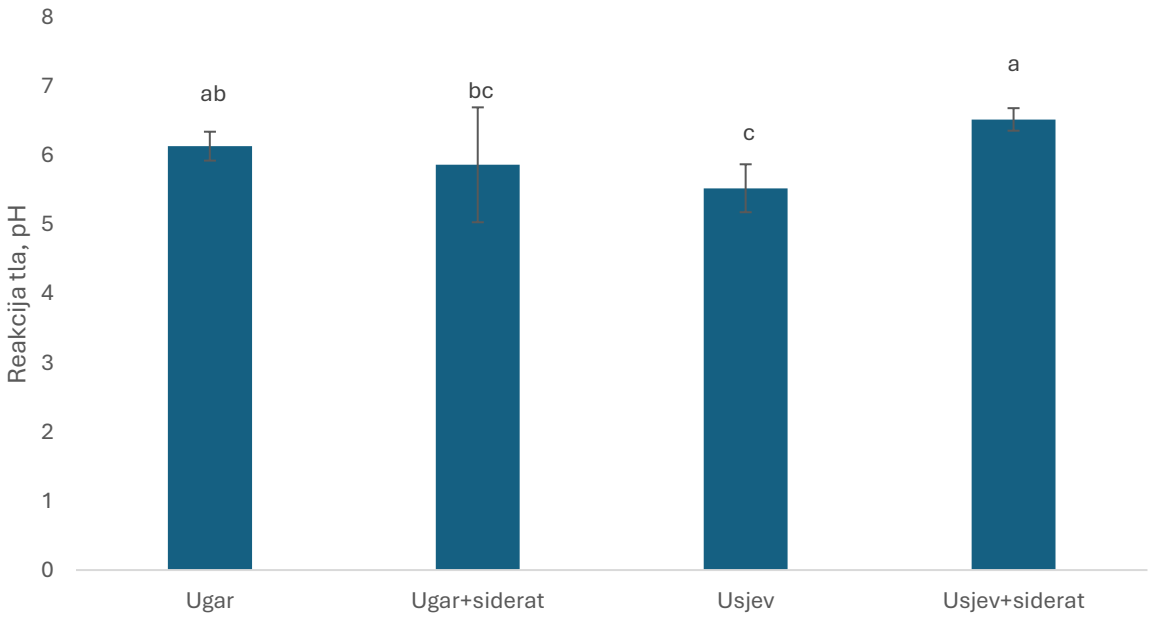


Grafikon 11. Gustoća čvrste faze u nultoj godini istraživanja.
Različita mala slova između tretmana označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.1.2. Kemijske značajke tla

5.1.2.1. Reakcija tla

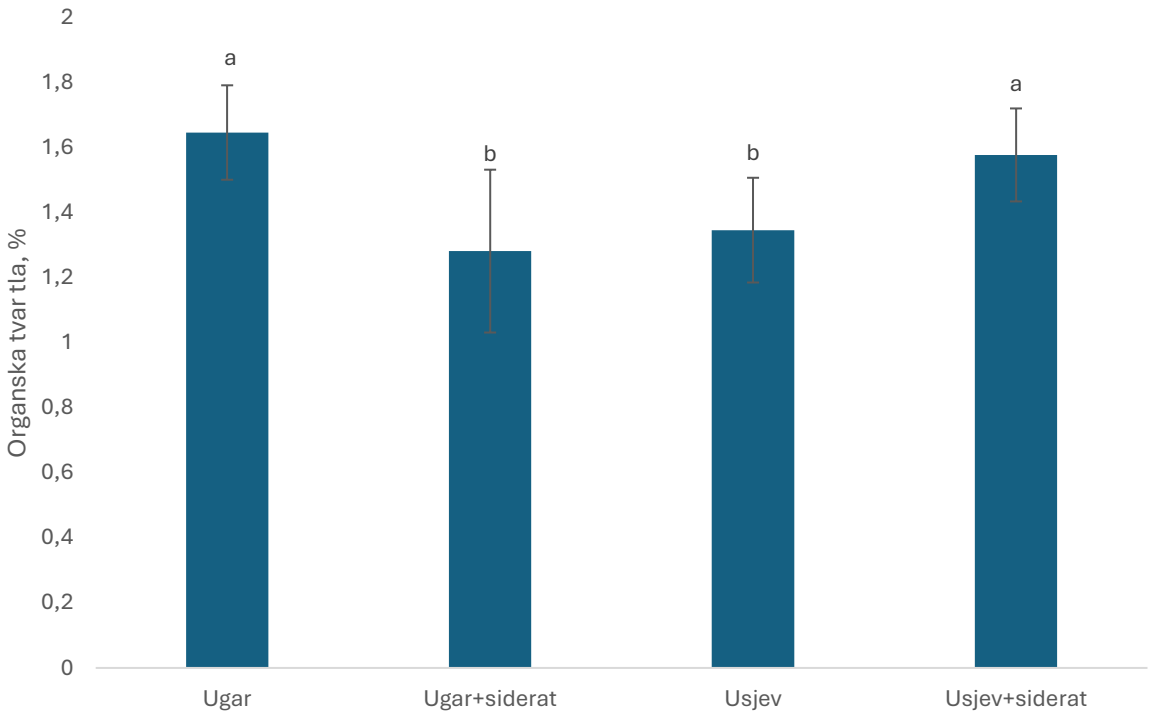
Grafikon 12. pokazuje statistički značajne razlike u vrijednostima reakcije tla između istraživanih tretmana što ukazuje na različite kemijske uvjete tla u početnoj fazi istraživanja. Značajno viša reakcija tla (6,53) utvrđena je na tretmanu „usjev+siderat“ u odnosu na tretman „usjev“ (5,53). Također značajno viša vrijednost reakcije tla (6,14) utvrđena je na tretmanu „ugar“ u odnosu na tretman „usjev“.



Grafikon 12. Reakcija tla u nultoj godini istraživanja.
Različita mala slova između tretmana označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.1.2.2. Sadržaj organske tvari u tlu

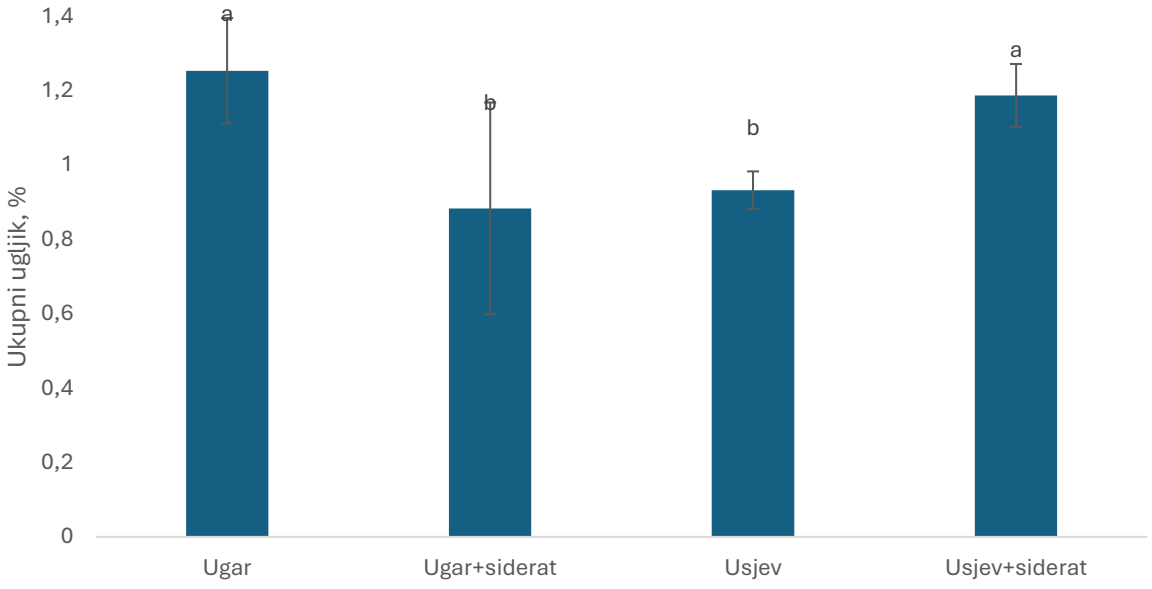
Grafikon 13. prikazuje statistički značajne razlike u sadržaju organske tvari između istraživanih tretmana. Tretmani „ugar“ i „usjev+siderat“ zabilježili su značajno veći sadržaj organske tvari u tlu u odnosu na tretmane „ugar+siderat“ i „usjev“. Vrijednosti sadržaja organske tvari kreću se od 1,28 % u tretmanu „ugar+siderat“ do 1,65 % u tretmanu „ugar“.



Grafikon 13. Sadržaj organske tvari u tlu u nultoj godini istraživanja.
Različita mala slova između tretmana označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.1.2.3. Ukupni ugljik

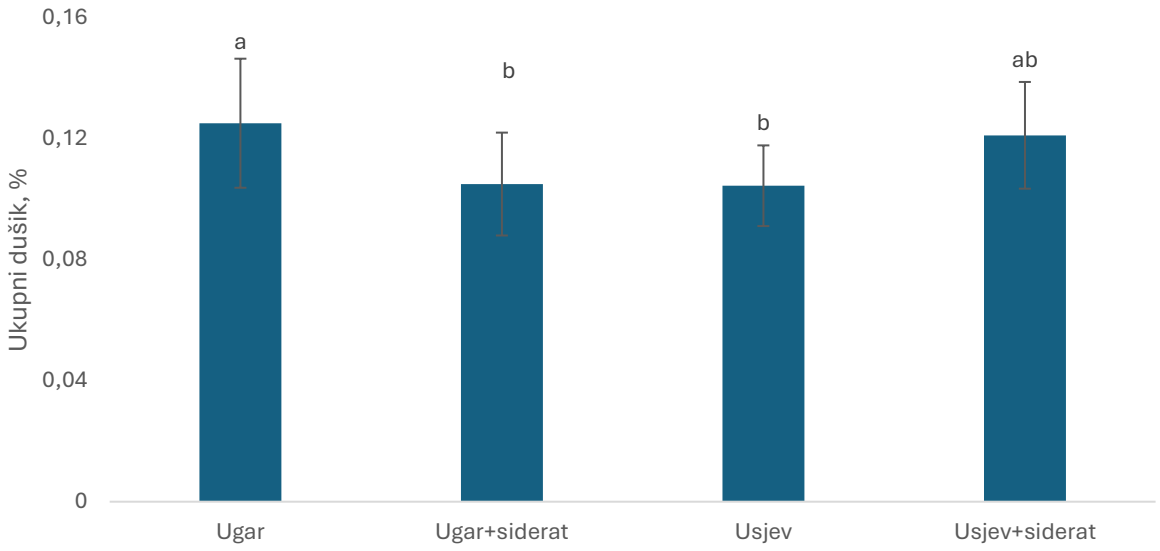
Na grafikonu 14. vidljivo je da je na tretmanima „ugar“ i „usjev+siderat“ zabilježen značajno viši sadržaj ukupnog ugljika u odnosu na dva ostala tretmana. Između tretmana „ugar+siderat“ i „usjev“ nisu utvrđene statistički značajne razlike u udjelu ukupnog ugljika (C). Vrijednosti ukupnog ugljika kreću se od 0,88 % na tretmanu „ugar+siderat“ do 1,25 % na tretmanu „ugar“.



Grafikon 14. Ukupni ugljik u nultoj godini istraživanja.
Različita mala slova između tretmana označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.1.2.4. Ukupni dušik

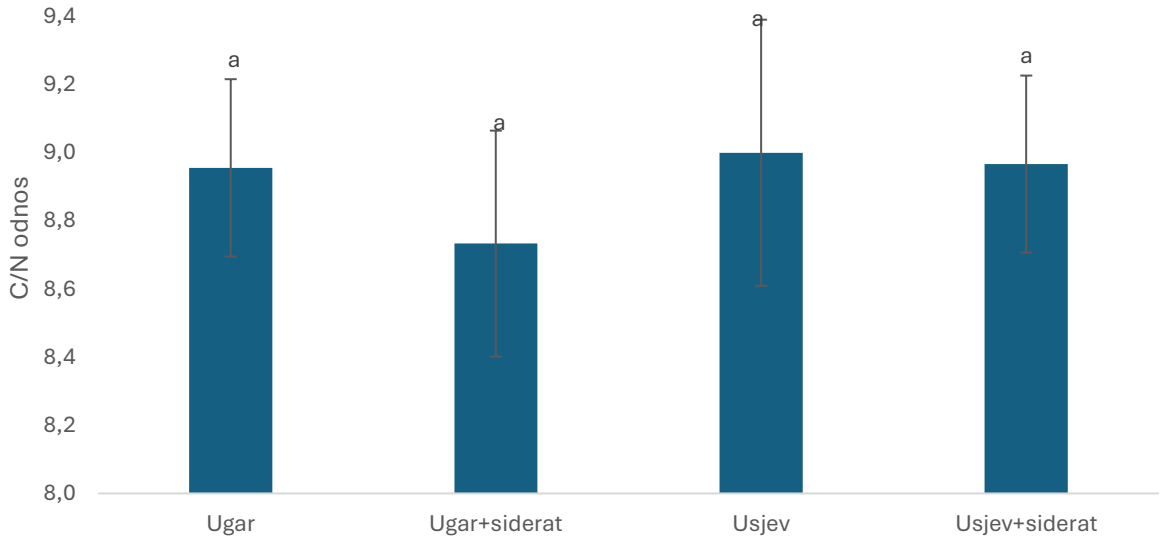
Na grafikonu 15. vidljivo je da je na tretmanu „ugar“ zabilježen signifikantno viši sadržaj ukupnog dušika u odnosu na tretmane „ugar+siderat“ te „usjev“. Između tretmana „ugar+siderat“ i „usjev“ te tretmana „usjev+siderat“ nisu utvrđene značajne razlike u udjelu ukupnog dušika (N). Vrijednosti ukupnog dušika kreću se od 0,10 % na tretmanima „usjev“ i „ugar+siderat“ do 0,13 % na tretmanu „ugar“.



Grafikon 15. Ukupni dušik u nultoj godini istraživanja.
Različita mala slova između tretmana označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.1.2.5. C/N odnos

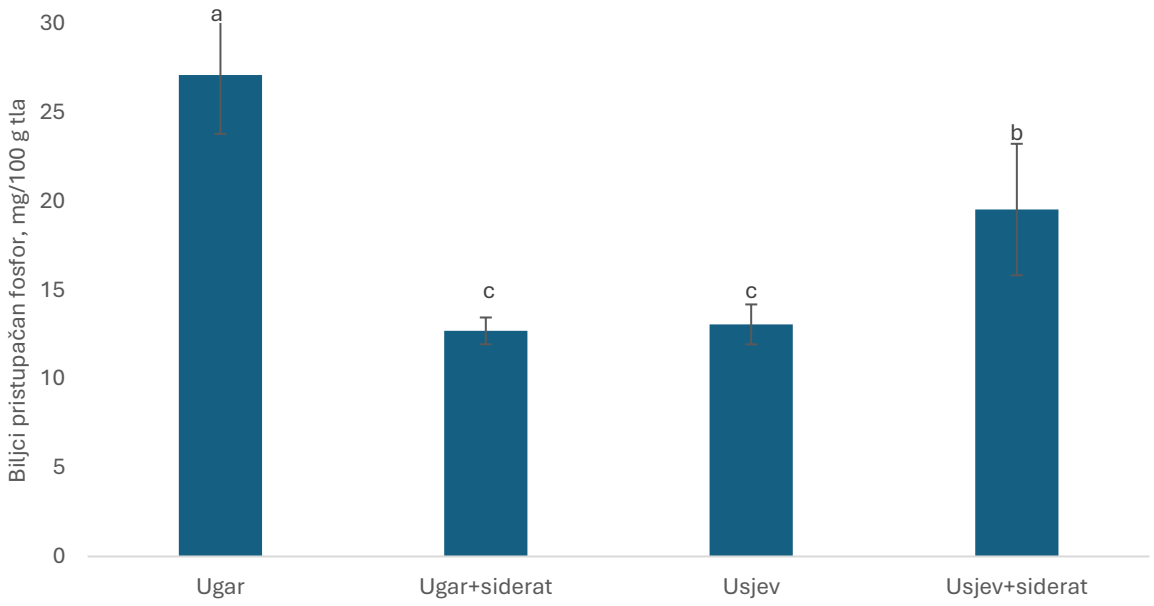
Grafikon 16. pokazuje da između istraživanih tretmana ne postoje statistički značajne razlike u omjeru ugljika i dušika. Vrijednosti C/N odnosa se kreće od 8,73 u tretmanu „ugar+siderat“ do 9,00 na tretmanu „usjev“.



Grafikon 16. C/N odnos u nultoj godini istraživanja.
Različita mala slova između tretmana označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.1.2.6. Biljci pristupačan fosfor

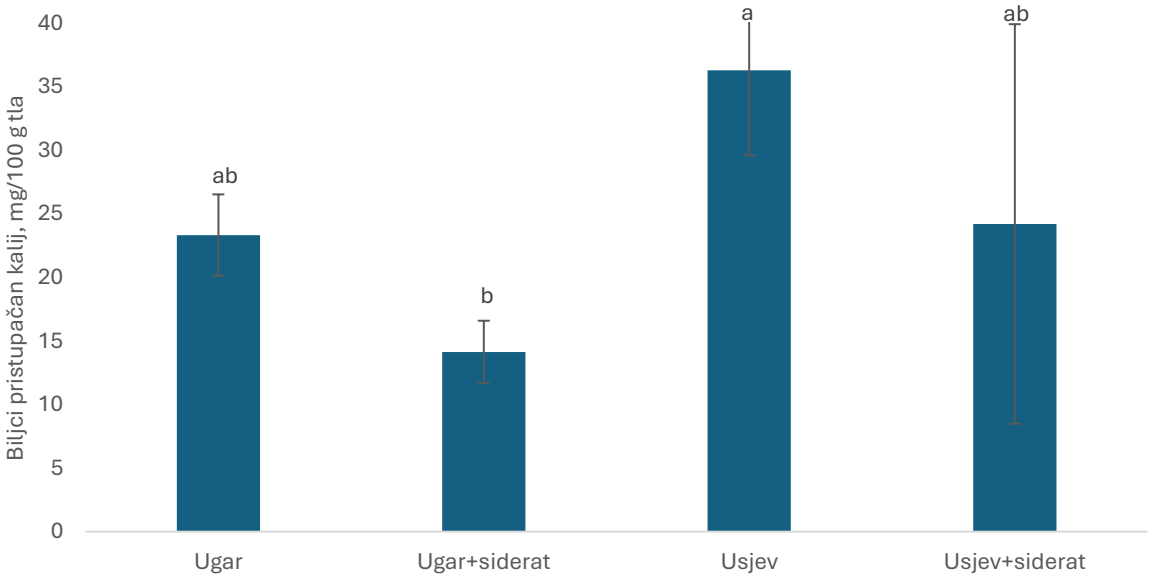
Iz grafikona 17. vidljivo je da su signifikantno više vrijednosti biljci pristupačnog fosfora utvrđene na tretmanu „ugar“ u odnosu na ostale tretmane. Također, značajno manje vrijednosti utvrđene su na tretmanu „usjev+siderat“ u odnosu na tretman „ugar“. Na ovom tretmanu utvrđene su signifikantno više vrijednosti biljci pristupačnog fosfora u odnosu na tretmane „ugar+siderat“ odnosno „usjev“. Vrijednosti biljci pristupačnog fosfora kreću se od 12,7 mg/100 g tla na tretmanu „ugar+siderat“ do 27,1 mg/100 g na tretmanu „ugar“.



Grafikon 17. Biljci pristupačan fosfor u nultoj godini istraživanja.
Različita mala slova između tretmana označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.1.2.7. Biljci pristupačan kalij

Grafikon 18. pokazuje da postoje značajne razlike u udjelu biljci pristupačnog kalija (K_2O) između istraživanih tretmana. Na tretmanu „usjev“ zabilježene su značajno više razine biljci pristupačnog kalija u odnosu na ostale tretmane. Također, na tretmanu „ugar+siderat“ zabilježene su značajno manje razine biljci pristupačnog kalija u odnosu na ostale tretmane. Između tretmana „ugar“ i „usjev+siderat“ nisu zabilježene značajne razlike. Vrijednosti biljci pristupačnog kalija kreću se od 14,3 mg/100 g tla na tretmanu „ugar+siderat“ do 36,3 mg/100 g na tretmanu „usjev“.



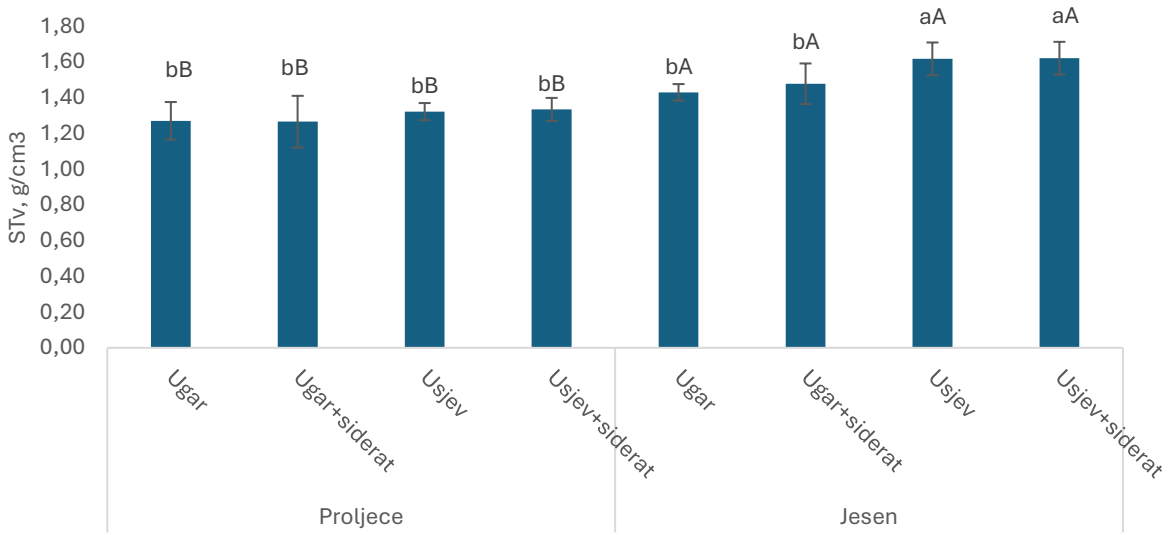
Grafikon 18. Biljci pristupačan kalij u nultoj godini istraživanja.
Različita mala slova između tretmana označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.2. Prva godina istraživanja (2021.)

5.2.1. Fizikalne osobine tla

5.2.1.1. Volumna gustoća

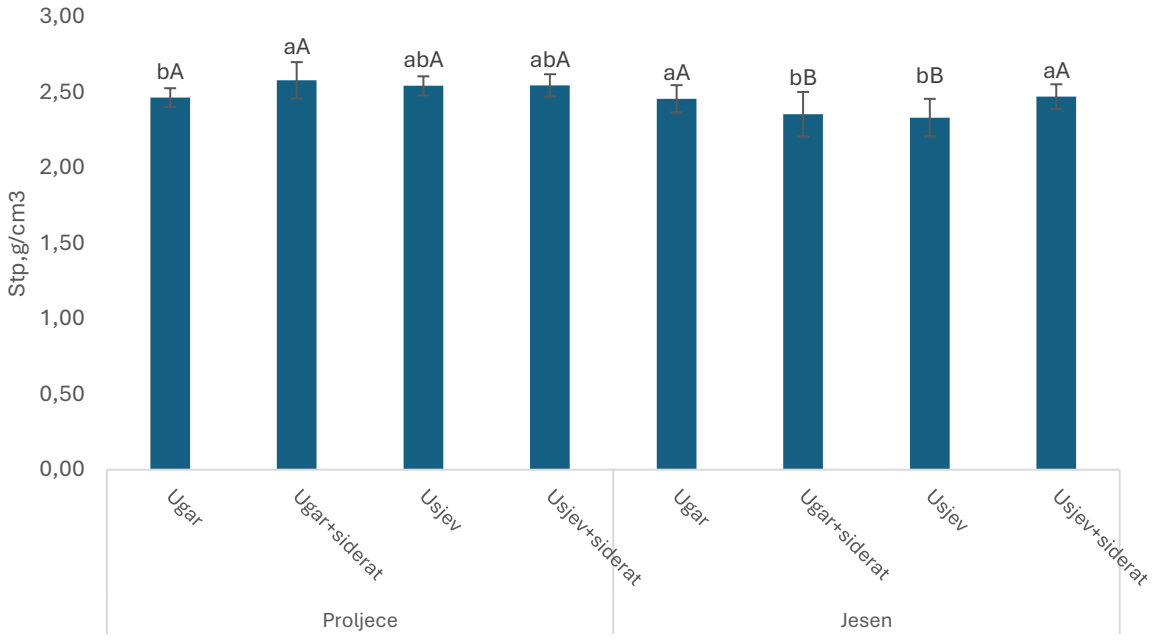
Grafikon 19. pokazuje da tijekom promatranog razdoblja nije utvrđena statistički značajna promjena u volumnoj gustoći tla (Stv) između tretmana pri proljetnoj pripremi tla za sjetvu kukuruza. Vrijednosti volumne gustoće tla kretale su se u proljeće od 1,26 g/cm^3 („ugar+siderat“) do 1,33 g/cm^3 („usjev+siderat“). U jesenskom uzorkovanju zabilježene su značajno niže vrijednosti volumne gustoće na tretmanima „ugar“ te „ugar+siderat“ u odnosu na tretmane „usjev“ te „usjev+siderat“. U jesenskom mjerenju vrijednosti volumne gustoće tla kretale su se od 1,43 g/cm^3 („ugar“) do 1,62 g/cm^3 („usjev“ i „usjev+siderat“). U pogledu sezonskog mjerenja volumne gustoće tla u sezoni proljeće/jesen utvrđene su značajno više vrijednosti u jesenskim mjerenjima u odnosu na proljetna mjerenja.



Grafikon 19. Volumna gustoća u 2021. godini.
Različita mala slova između tretmana, odnosno velika slova između početka i kraja vegetacijske godine označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.2.1.2. Gustoća čvrste faze tla

U pogledu prave gustoće čvrste faze tla u proljetnom mjerenju zabilježena je značajno manja vrijednost na tretmanu „ugar“ u odnosu na tretman „ugar+siderat“ (grafikon 20.). Između tretmana „usjev“ i „usjev+siderat“ nisu zabilježene značajne razlike. Vrijednosti prave gustoće tla u proljeće kretale su se od 2,46 g/cm^3 („ugar“) do 2,58 g/cm^3 („ugar+siderat“). U jesenskom mjerenju na tretmanima „ugar“ i „usjev+siderat“ zabilježene su značajno više vrijednosti u odnosu na tretmane „ugar+siderat“ i „usjev“. Vrijednosti prave gustoće tla u jesen kretale su se od 2,33 g/cm^3 („usjev“) do 2,47 g/cm^3 („usjev+siderat“). U pogledu razlike proljeće/jesen nisu postojale značajne razlike između tretmana u proljeće i jesenskog tretmana na „ugaru“. Na ostalim jesenskim tretmanima „ugar+siderat“, „usjev“ i „usjev+siderat“ zabilježene su značajno manje vrijednosti prave gustoće tla u odnosu na proljetne tretmane te jesenski ugar. U pogledu sezonskog mjerenja gustoće čvrste faze tla (proljeće/jesen) značajno više vrijednosti utvrđene su u proljetnim mjerenjima te na „ugaru“ u jesen u odnosu na tri ostala tretmana u jesenskom mjerenju („ugar+siderat“, „usjev“ i „usjev+siderat“).

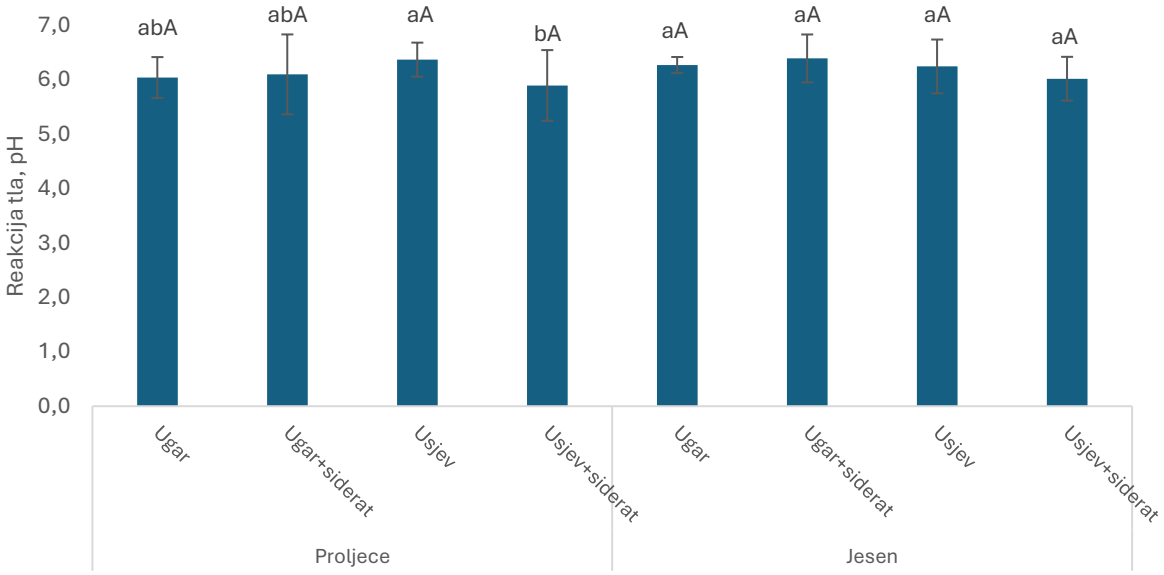


Grafikon 20. Gustoća čvrste faze tla u 2021. godini.
Različita mala slova između tretmana, odnosno velika slova između početka i kraja vegetacijske godine označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.2.2. Kemijske osobine tla

5.2.2.1. Reakcija tla

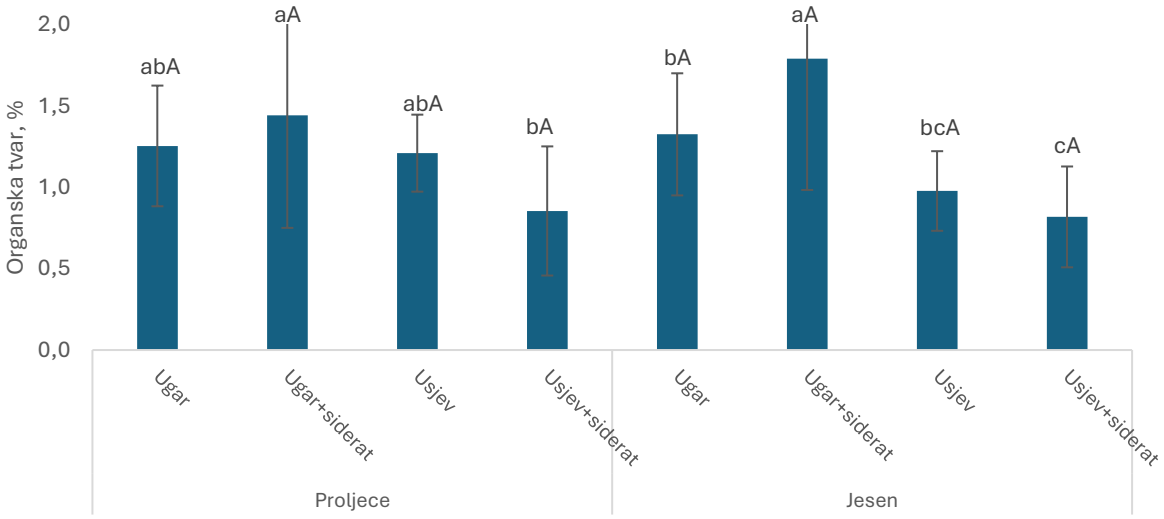
U pogledu reakcije tla u proljetnom uzorkovanju utvrđena je značajno viša vrijednost na tretmanu „usjev“ u odnosu na tretman „usjev+siderat“ (grafikon 21.). Između tretmana „ugar“ i „ugar+siderat“ nisu postojale značajne razlike. Vrijednost reakcije tla u proljetnom uzorkovanju kreće se od 5,89 („usjev+siderat“) do 6,37 („usjev“). U jesenskom uzorkovanju nisu postojale značajne razlike između istraživanih tretmana. Vrijednosti reakcije tla u jesenskom uzorkovanju kretale su se od 6,01 („usjev+siderat“) do 6,39 („ugar+siderat“). U pogledu sezone proljeće/jesen nisu postojale značajne razlike u vrijednosti reakcije tla.



Grafikon 21. Reakcija tla u 2021. godini.
Različita mala slova između tretmana, odnosno velika slova između početka i kraja vegetacijske godine označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.2.2.2. Sadržaj organske tvari

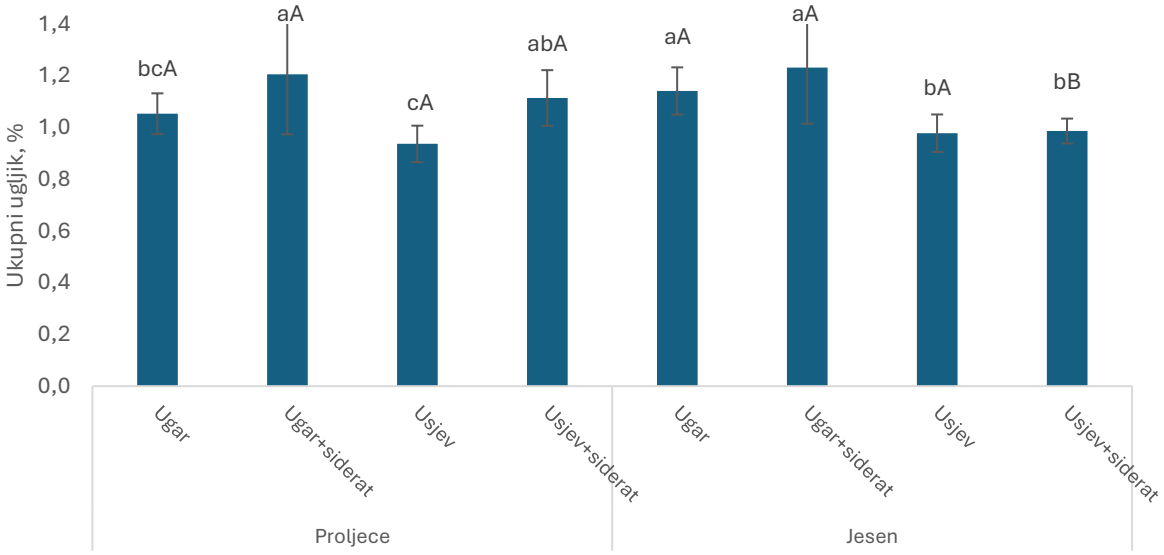
Na grafikonu 22. prikazane su vrijednosti organske tvari u tlu. Na tretmanu „ugar+siderat“ u proljetnom uzorkovanju utvrđene su značajno više vrijednosti sadržaja organske tvari u tlu u odnosu na tretman „usjev+siderat“. Između tretmana „ugar“ i „usjev“ nisu utvrđene značajne razlike. Vrijednosti su se kretale od 0,85 % („usjev+siderat“) do 1,44 % („ugar+siderat“). U jesenskom uzorkovanju utvrđene su značajno više vrijednosti organske tvari na tretmanu „ugar+siderat“ u odnosu na druge tretmane. Na tretmanu „usjev+siderat“ utvrđene su značajno manje količine organske tvari u odnosu na tretmane „ugar“ te „ugar+siderat“. Vrijednosti su se kretale od 0,81 % („usjev+siderat“) do 1,79 % („ugar+siderat“). U pogledu sezonskog mjerenja (proljeće/jesen) sadržaja organske tvari nisu utvrđene značajne razlike.



Grafikon 22. Sadržaj organske tvari u 2021. godini.
Različita mala slova između tretmana, odnosno velika slova između početka i kraja vegetacijske godine označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.2.2.3. Ukupni ugljik

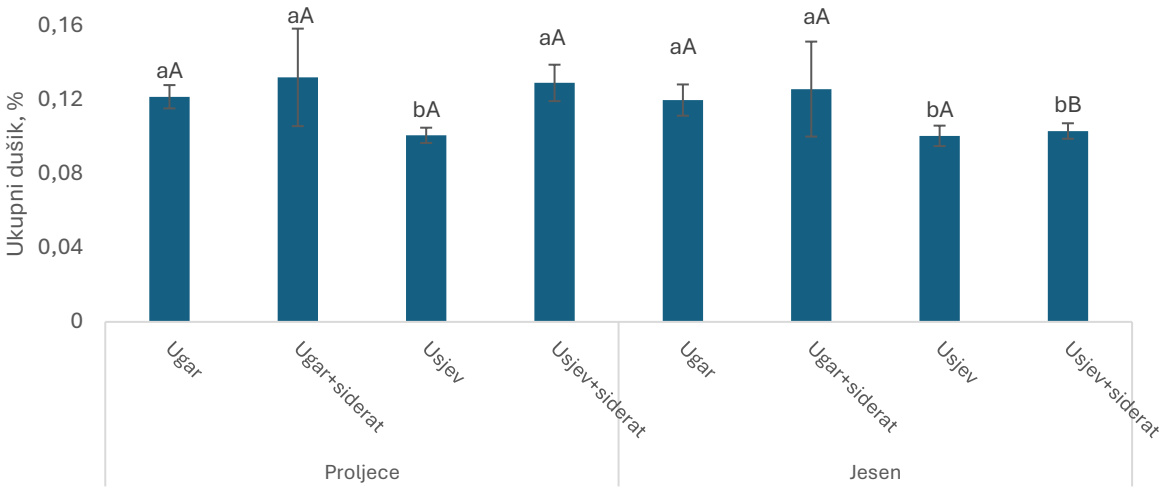
U proljetnom mjerenju utvrđen je značajno niži sadržaj ukupnog ugljika na tretmanu „usjev“ u odnosu na tretmane „ugar+siderat“ te „usjev+siderat“ (grafikon 23.). Na tretmanu „ugar+siderat“ utvrđene su značajno više vrijednosti u odnosu na tretman „ugar“. U proljetnom mjerenju vrijednosti ukupnog ugljika kretale su se od 0,93 % („usjev“) do 1,20 % („ugar+siderat“). U jesenskom mjerenju značajno više vrijednosti ukupnog ugljika utvrđene su na tretmanima „ugar“ i „ugar+siderat“ u odnosu na tretmane „usjev“ i „usjev+siderat“. Vrijednosti su se kretale od 0,97 % („usjev“) do 1,23 % („ugar+siderat“).



Grafikon 23. Ukupni ugljik u 2021. godini.
Različita mala slova između tretmana, odnosno velika slova između početka i kraja vegetacijske godine označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.2.2.4. Ukupni dušik

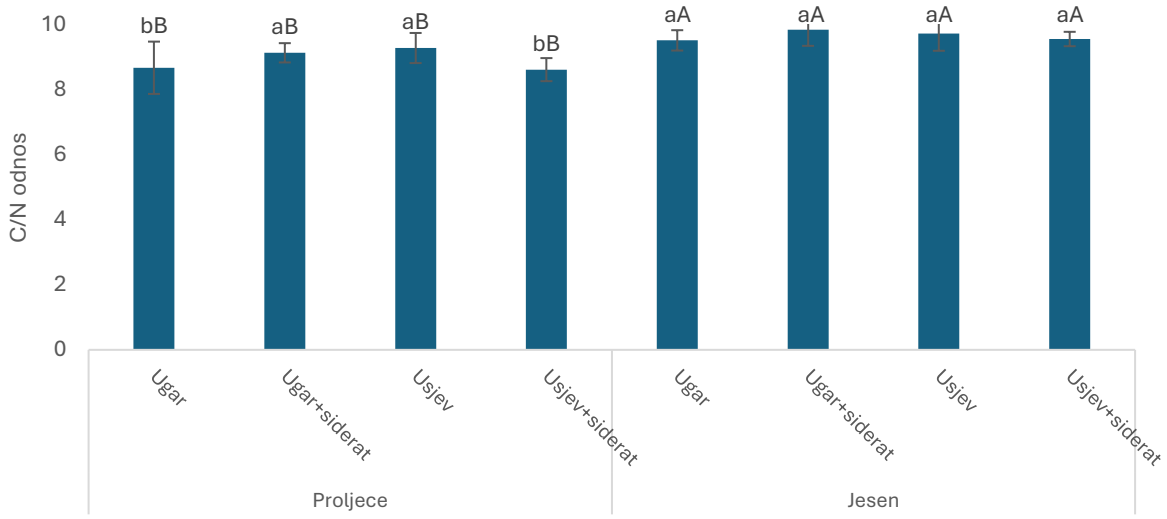
Vrijednosti ukupnog dušika za prvu godinu istraživanja prikazane su na grafikonu 24. Značajno niži sadržaj ukupnog dušika utvrđen je na tretmanu „usjev“ u odnosu na ostale tretmane. Vrijednosti ukupnog dušika u proljetnom uzorkovanju kretale su se od 0,10 % do 0,13 % („ugar+siderat“ i „usjev+siderat“). U jesenskom mjerenju značajno viši sadržaj ukupnog dušika utvrđen je na tretmanima „ugar“ te „ugar+siderat“ u odnosu na tretmane „usjev“ i „usjev+siderat“. Vrijednosti ukupnog dušika u jesenskom mjerenju kretale su se od 0,10 % („usjev“ te „usjev+siderat“) do 0,13 % („ugar+siderat“).



Grafikon 24. Ukupni dušik u 2021. godini.
Različita mala slova između tretmana, odnosno velika slova između početka i kraja vegetacijske godine označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.2.2.5. C/N odnos

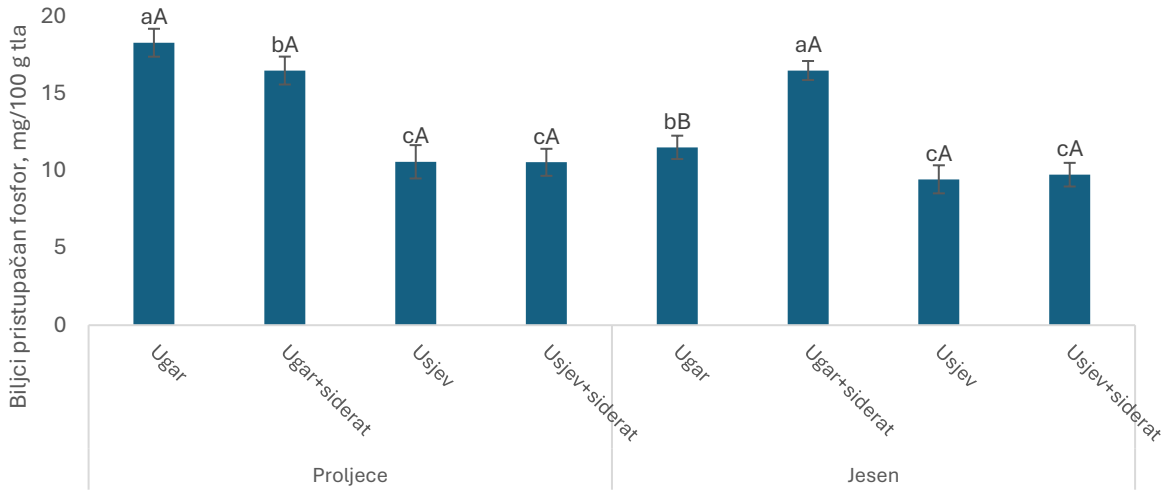
Odnos ugljik dušik (C/N odnos) za prvu godinu istraživanja prikazan je na grafikonu 25. Značajno viši C/N odnos utvrđen je na tretmanima „ugar+siderat“ i „usjev“ u odnosu na tretmane „ugar“ te „usjev+siderat“. Odnos ugljika i dušika kretao se od 8,62 („usjev+siderat“) do 9,28 („usjev“). U jesenskom uzorkovanju nisu postojale značajne razlike između tretmana. Odnos ugljika i dušika kretao se od 9,51 („ugar“) do 9,84 („ugar+siderat“). U pogledu sezonskog mjerenja (proljeće/jesen) značajno viša vrijednost je utvrđena u jesenskom mjerenju u odnosu na proljetno mjerenje.



Grafikon 25. C/N odnos u 2021. godini.
Različita mala slova između tretmana, odnosno velika slova između početka i kraja vegetacijske godine označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.2.2.6. Biljci pristupačan fosfor

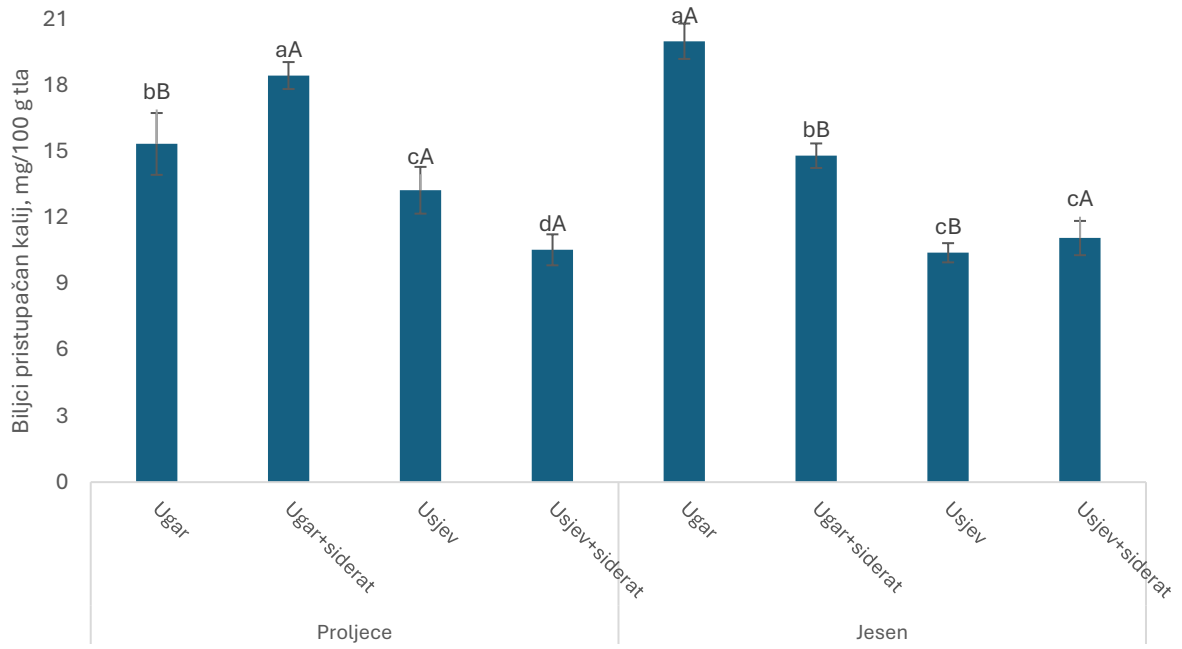
Značajno više vrijednosti biljci pristupačnog fosfora zabilježene su na tretmanu „ugar“ u odnosu na ostale tretmane (grafikon 26.) u proljetnom mjerenju. Na tretmanu „ugar+siderat“ zabilježene su značajno manje vrijednosti biljci pristupačnog fosfora u odnosu na tretman „ugar“, ali isto tako značajno više vrijednosti u odnosu na tretmane „usjev“ te „usjev+siderat“ u proljetnom mjerenju. Vrijednosti biljci pristupačnog fosfora u proljetnom mjerenju kretale su se od 10,53 mg/100 g tla („usjev+siderat“) do 18,27 mg/100 g tla („ugar“). U jesenskom mjerenju značajno više vrijednosti utvrđene su na tretmanu „ugar+siderat“ u odnosu na sve ostale tretmane. Na tretmanu „ugar“ zabilježene su značajno manje vrijednosti u odnosu na tretman „ugar+siderat“, ali isto tako i značajno više vrijednosti u odnosu na tretmane „usjev“ te „usjev+siderat“. Između tretmana „usjev“ i „usjev+siderat“ nisu utvrđene značajne razlike. U jesenskom mjerenju vrijednosti biljci pristupačnog fosfora kretale su se od 9,43 mg/100 g tla („usjev“) do 16,47 mg/100 g tla („ugar+siderat“). U pogledu sezonskog mjerenja (proljeće/jesen) značajno niža vrijednost je utvrđena u jesenskom mjerenju na „ugaru“ u odnosu na sva druga mjerenja.



Grafikon 26. Biljci pristupačan fosfor u 2021. godini.
Različita mala slova između tretmana, odnosno velika slova između početka i kraja vegetacijske godine označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.2.2.7. Biljci pristupačan kalij

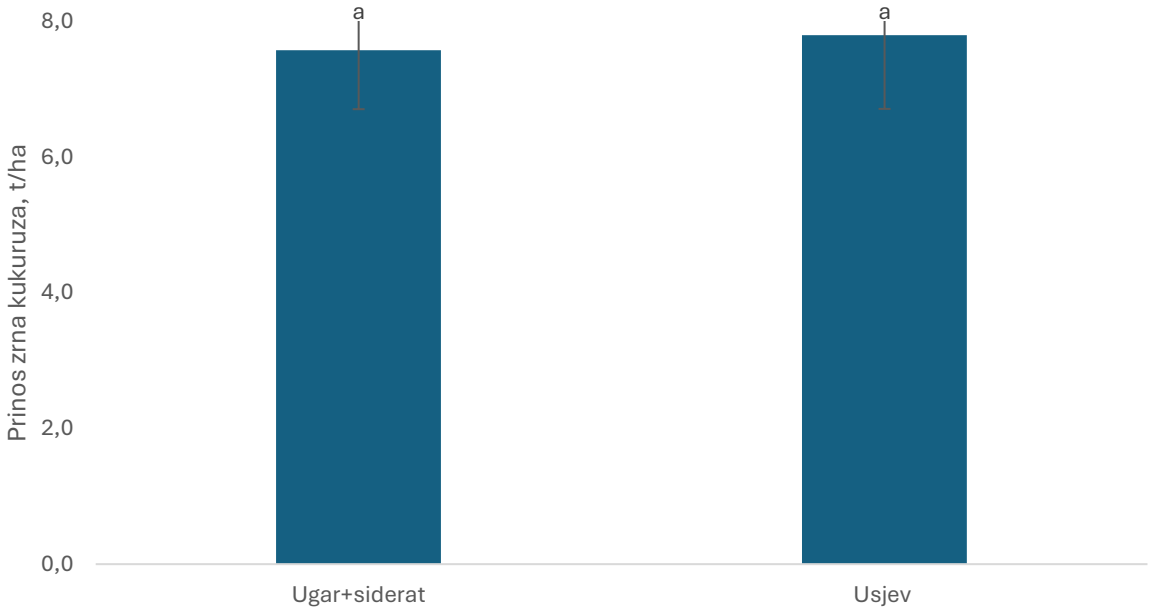
Značajno više vrijednosti biljci pristupačnog kalija zabilježene su na tretmanu „ugar+siderat“ u odnosu na ostale tretmane (grafikon 27.). Na tretmanu „ugar“ zabilježene su značajno manje vrijednosti biljci pristupačnog fosfora u odnosu na tretman „ugar+siderat“, ali isto tako značajno više vrijednosti u odnosu na tretmane „usjev“ te „usjev+siderat“. Na tretmanu „usjev+siderat“ utvrđene su značajno niže vrijednosti u odnosu na sve ostale tretmane. Vrijednosti biljci pristupačnog kalija u proljetnom mjerenju kretale su se od 10,52 mg/100 grama tla („usjev+siderat“) do 18,43 mg/100 grama tla („ugar+siderat“). U jesenskom mjerenju značajno više vrijednosti utvrđene su na tretmanu „ugar+siderat“ u odnosu na sve ostale tretmane. Na tretmanu „ugar“ zabilježene su značajno manje vrijednosti u odnosu na tretman „ugar+siderat“, ali isto tako i značajno više vrijednosti u odnosu na tretmane „usjev“ te „usjev+siderat“. Između tretmana „usjev“ i „usjev+siderat“ nisu utvrđene značajne razlike. U jesenskom mjerenju vrijednosti biljci pristupačnog kalija kretale su se od 9,44 mg/100 grama tla („usjev“) do 16,49 mg/100 grama tla („ugar+siderat“). U pogledu sezonskog mjerenja (proljeće/jesen) značajno niža vrijednost utvrđena je u jesenskom mjerenju na „ugaru“ u odnosu na sve druge tretmane.



Grafikon 27. Biljci pristupačan kalij u 2021. godini.
Različita mala slova između tretmana, odnosno velika slova između početka i kraja vegetacijske godine označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.2.2.8. Prinos zrna kukuruza

Grafikon 28. pokazuje da nije utvrđena statistički značajna razlika u prinosu kukuruza između istraživanih tretmana na kojima je uzgajan kukuruz, neovisno o primjeni zelene gnojidbe. Prinos zrna kukuruza na tretmanu „usjev+zelena gnojidba“ je čak nešto niži i iznosi 7,58 t/ha suhog zrna u odnosu na 7,81 t/ha suhog zrna na tretmanu „usjev“.



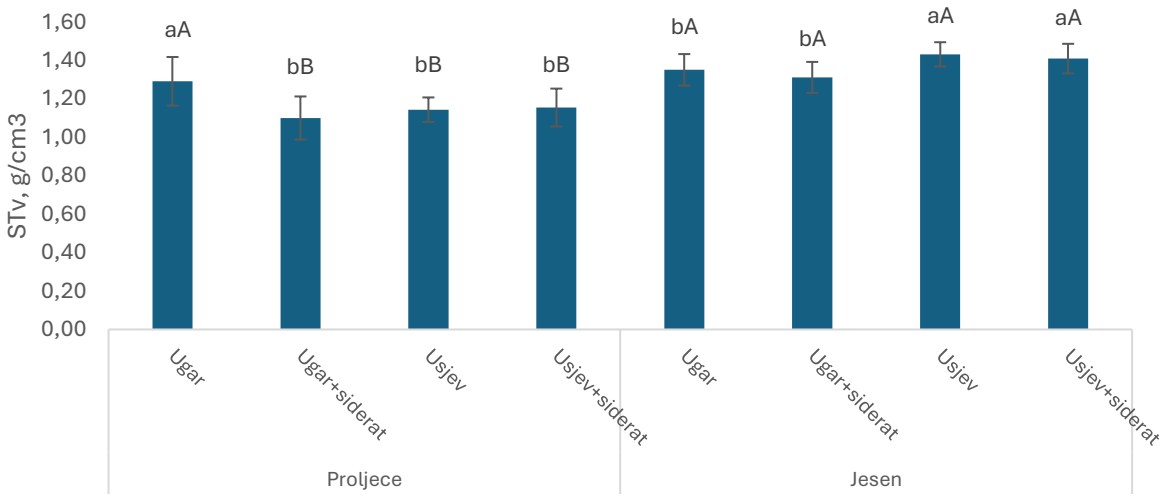
Grafikon 28. Prinos kukuruza u 2021. godini.
Različita mala slova između tretmana označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.3. Druga godina istraživanja (2022.)

5.3.1. Fizikalne značajke tla

5.3.1.1. Volumna gustoća

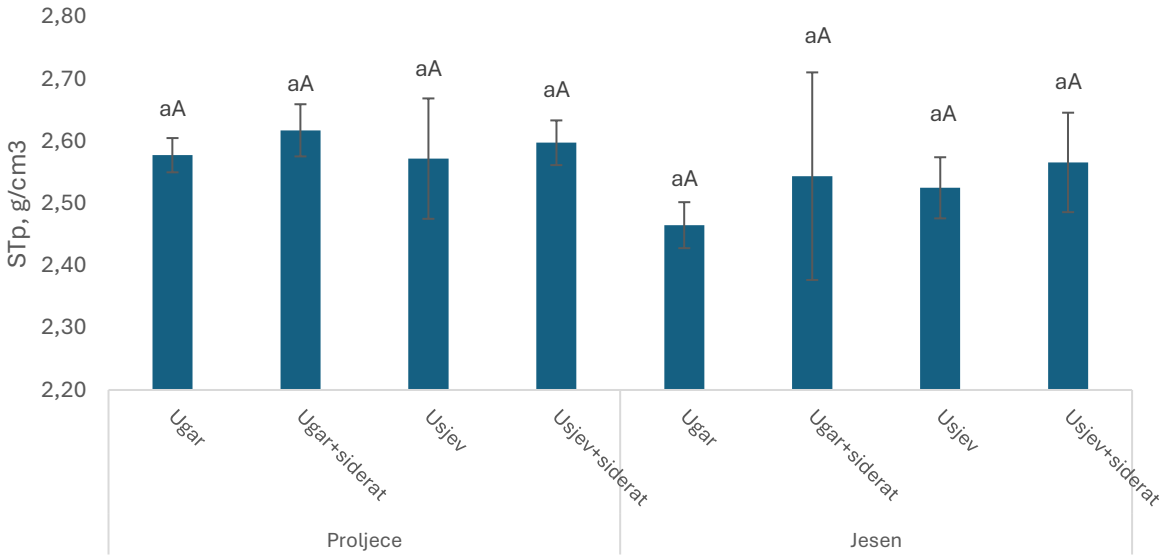
Grafikon 29. pokazuje da je na tretmanu „ugar“ zabilježena značajno viša volumna gustoća tla (Stv) u odnosu na tri preostala tretmana pri proljetnoj pripremi tla za sjetvu soje. Vrijednosti volumne gustoće tla u proljeće kretale su se od 1,11 g/cm^3 („ugar+siderat“) do 1,29 g/cm^3 („ugar“). U jesenskom uzorkovanju zabilježena je značajno niža vrijednost volumne gustoće na tretmanu „ugar+siderat“ u odnosu na ostale tretmane. U jesenskom mjerenju vrijednosti volumne gustoće tla kretale su se od 1,31 g/cm^3 („ugar+siderat“) do 1,43 g/cm^3 („usjev“). U pogledu sezone proljeće/jesen na proljetnim tretmanima „ugar+siderat“, „usjev“ te „usjev+siderat“ zabilježene su značajno manje vrijednosti volumne gustoće tla u odnosu na jesenske tretmane.



Grafikon 29. Volumna gustoća tla u 2022. godini.
Različita mala slova između tretmana, odnosno velika slova između početka i kraja vegetacijske godine označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.3.1.2. Gustoća čvrste faze

U pogledu prave gustoće tla i u proljetnom mjerenju i u jesenskom mjerenju nisu zabilježene značajne razlike između mjerenja (grafikon 30.). Vrijednosti prave gustoće tla u proljeće kretale su se od 2,57 g/cm^3 („usjev“) do 2,62 g/cm^3 („ugar+siderat“). Vrijednosti prave gustoće tla u jesen kretale su se od 2,47 g/cm^3 („ugar“) do 2,56 g/cm^3 („usjev+siderat“). Također u pogledu sezone proljeće/jesen nisu zabilježene značajne razlike u pogledu prave gustoće tla.

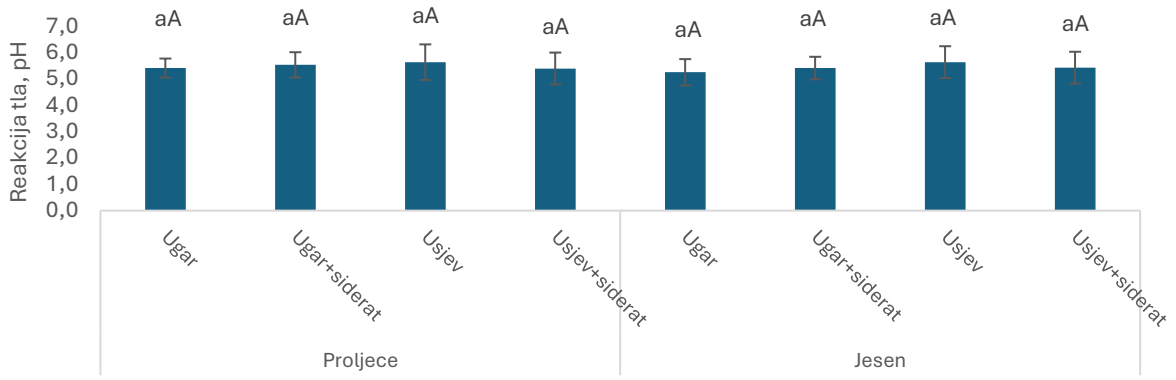


Grafikon 30. Gustoća čvrste faze u 2022. godini.
Različita mala slova između tretmana, odnosno velika slova između početka i kraja vegetacijske godine označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.3.2. Kemijske značajke tla

5.3.2.1. Reakcija tla

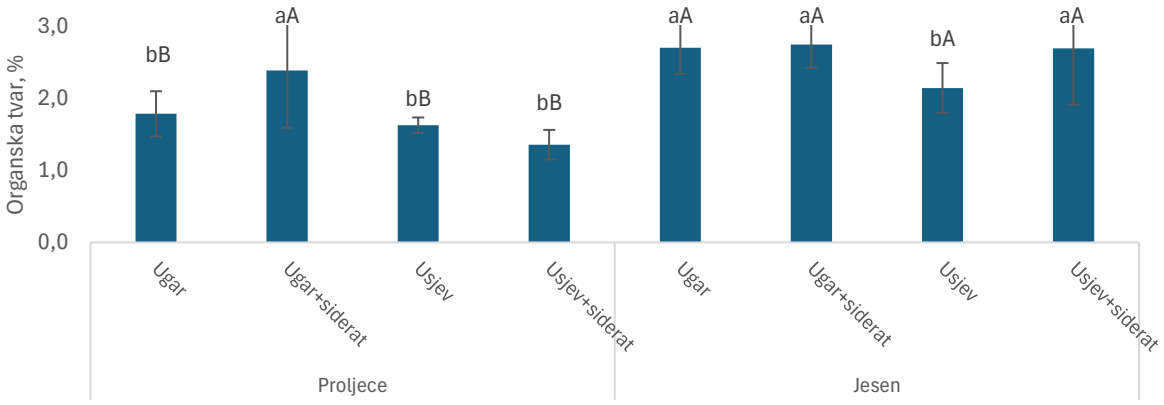
Na grafikonu 31. uočljivo je da tijekom druge godine istraživanja nisu zabilježene značajne razlike u vrijednosti reakcije tla između istraživanih tretmana kao ni između vremenskih razdoblja uzorkovanja (proljeće i jesen). Najmanja vrijednost reakcije tla zabilježena je na tretmanu „ugar“ u jesenskom mjerenju (5,25), dok je najviša reakcija tla 5,65 izmjerena na tretmanu „usjev“, također u jesenskom mjerenju.



Grafikon 31. Reakcija tla u 2022. godini.
Različita mala slova između tretmana, odnosno velika slova između početka i kraja vegetacijske godine označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.3.2.2. Sadržaj organske tvari

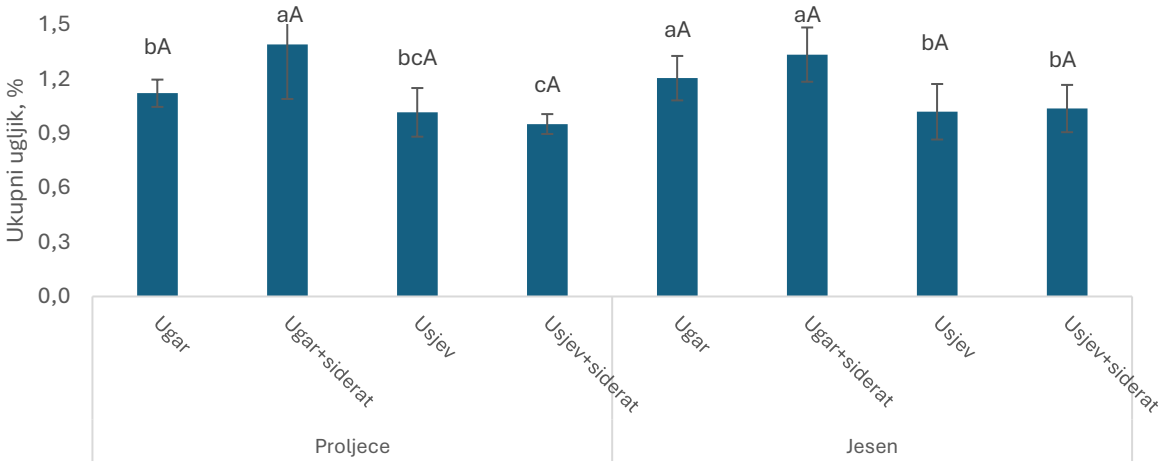
Na grafikonu 32. prikazane su vrijednosti organske tvari u tlu. Na tretmanu „ugar+siderat“ utvrđene su u proljetnom uzorkovanju značajno više vrijednosti sadržaja organske tvari u tlu u odnosu na ostale tretmane. Između ostalih tretmana nisu utvrđene značajne razlike. Vrijednosti su se kretale od 1,35 % („usjev+siderat“) do 2,38 % („ugar+siderat“). U jesenskom uzorkovanju značajno niža vrijednost organske tvari utvrđena je na tretmanu „usjev“ u odnosu na sve druge tretmane. Između ostalih tretmana nisu utvrđene značajne razlike u pogledu organske tvari. Vrijednosti su se kretale od 2,14 % („usjev“) do 2,74 % („ugar+siderat“). U pogledu sezonskog mjerenja (proljeće/jesen) značajno niži sadržaj organske tvari utvrđen je u proljetnom uzorkovanju na tretmanima „ugar“, „usjev“ te „usjev+siderat“.



Grafikon 32. Sadržaj organske tvari u 2022. godini.
Različita mala slova između tretmana, odnosno velika slova između početka i kraja vegetacijske godine označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.3.2.3. Ukupni ugljik

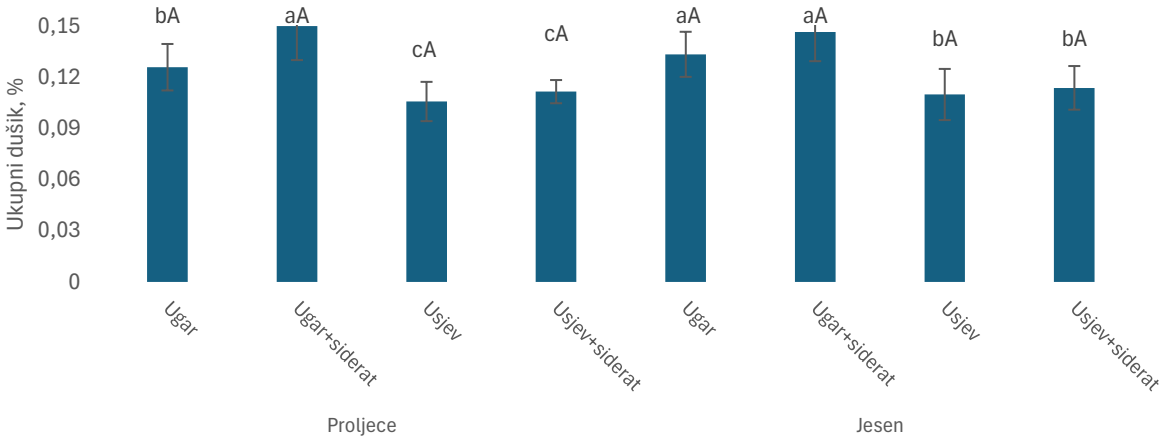
U proljetnom mjerenju značajno viši sadržaj ukupnog ugljika utvrđen je na tretmanu “ugar+siderat“ (grafikon 33.) u odnosu na ostale tretmane. Na tretmanu „ugar“ utvrđena je značajno viša vrijednost u odnosu na tretman „usjev+siderat“. U proljetnom mjerenju vrijednosti ukupnog ugljika kretale su se od 0,95 % („usjev+siderat“) do 1,39 % („ugar+siderat“). U jesenskom mjerenju značajno više vrijednosti ukupnog ugljika utvrđene su na tretmanima „ugar“ i „ugar+siderat“ u odnosu na tretmane „usjev“ i „usjev+siderat“. Vrijednosti su se kretale od 1,02 % („usjev“) do 1,33 % („ugar+siderat“). U pogledu sezonskih razlika (proljeće/jesen) nisu utvrđene značajne razlike između istraživanih tretmana.



Grafikon 33. Ukupni ugljik u 2022. godini.
Različita mala slova između tretmana, odnosno velika slova između početka i kraja vegetacijske godine označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.3.2.4. Ukupni dušik

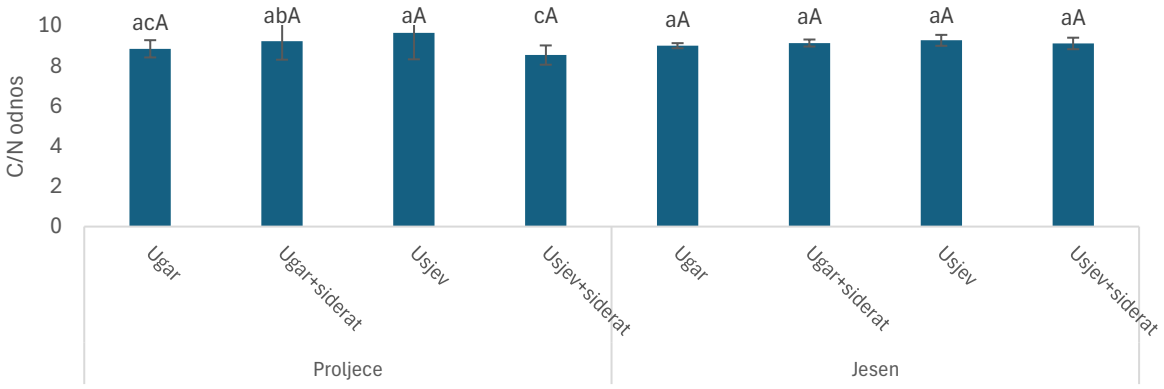
Vrijednosti ukupnog dušika za drugu godinu istraživanja prikazane su na grafikonu 34. Na tretmanu „ugar+siderat“ zabilježene su značajno više vrijednosti u odnosu na ostale tretmane. Značajno niži sadržaj ukupnog dušika utvrđen je na tretmanima „usjev“ i „usjev+siderat“ u odnosu na tretmane „ugar“ i „ugar+siderat“. Vrijednosti ukupnog dušika u proljetnom uzorkovanju kretale su se od 0,10 % („usjev“) do 0,15 % („ugar+siderat“). U jesenskom mjerenju značajno viši sadržaj ukupnog dušika utvrđen je na tretmanima „ugar“ te „ugar+siderat“ u odnosu na tretmane „usjev“ i „usjev+siderat“. Vrijednosti ukupnog dušika u jesenskom mjerenju kretale su se od 0,11 % („usjev“ te „usjev+siderat“) do 0,15 % („ugar+siderat“).



Grafikon 34. Ukupni dušik u 2022. godini.
Različita mala slova između tretmana, odnosno velika slova između početka i kraja vegetacijske godine označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.3.2.5. C/N odnos

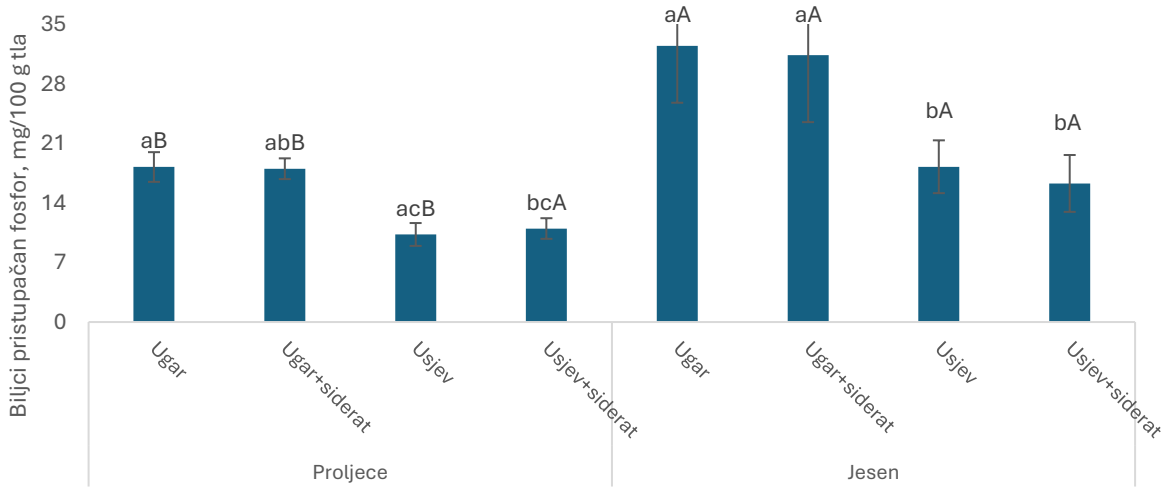
Odnos ugljik dušik (C/N odnos) za drugu godinu istraživanja prikazan je na grafikonu 35. Značajno viši C/N odnos utvrđen je na tretmanu „usjev“ u odnosu na tretmane „ugar“ te „usjev+siderat“. Na tretmanu „usjev+siderat“ utvrđen je značajno niži odnos ugljika i dušika u odnosu na tretmane „ugar+siderat“ i „usjev“. Odnos ugljika i dušika se kretao od 8,54 („usjev+siderat“) do 9,65 („usjev“). U jesenskom uzorkovanju nisu postojale značajne razlike između tretmana. Odnos ugljika i dušika kretao se od 9,01 („ugar“) do 9,28 („usjev“). U pogledu sezonskog mjerenja (proljeće/jesen) nisu utvrđene značajne razlike između istraživanih tretmana.



Grafikon 35. C/N odnos u 2022. godini.
Različita mala slova između tretmana, odnosno velika slova između početka i kraja vegetacijske godine označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.3.2.6. Biljci pristupačan fosfor

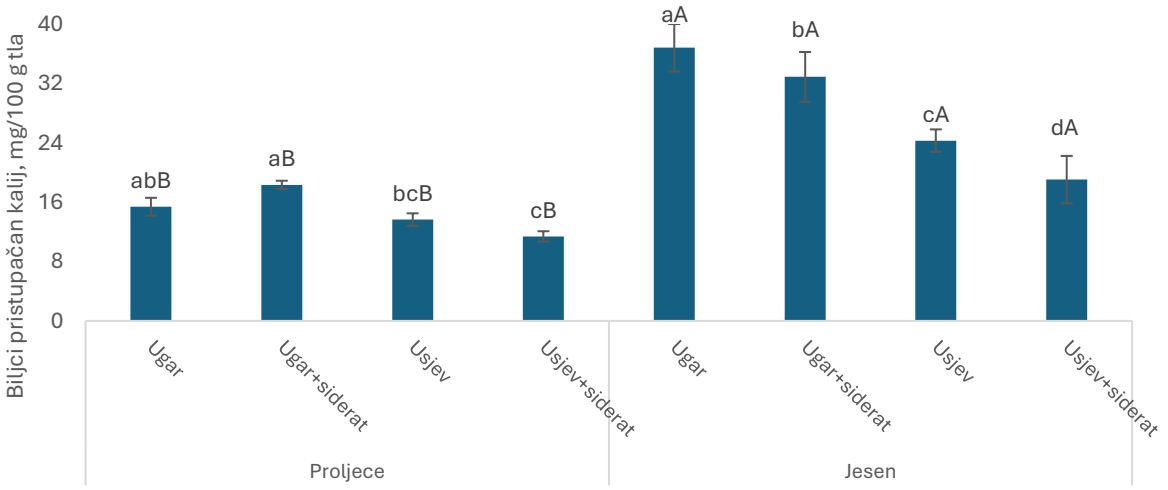
Značajno više vrijednosti biljci pristupačnog fosfora zabilježene su na tretmanu „ugar“ u odnosu na tretman „usjev+siderat“ (grafikon 36.). Između tretmana „ugar“ i „ugar+siderat“ s jedne strane, kao i između tretmana „usjev“ i „usjev+siderat“ s druge strane, nisu zabilježene značajne razlike biljci pristupačnog fosfora. Vrijednosti biljci pristupačnog fosfora u proljetnom mjerenju kretale su se od 10,30 mg/100 grama tla („usjev“) do 18,23 mg/100 g tla („ugar“). U jesenskom mjerenju značajno više vrijednosti utvrđene su na tretmanima „ugar“ i „ugar+siderat“ u odnosu na tretmane „usjev“ i „usjev+siderat“. U jesenskom mjerenju vrijednosti biljci pristupačnog fosfora kretale su se od 16,3 mg/100 grama tla („usjev+siderat“) do 32,45 mg/100 grama tla („ugar“). U pogledu sezonskog mjerenja (proljeće/jesen) značajno niža vrijednost utvrđena je u proljetnom mjerenju na tretmanima „ugar“, „ugar+siderat“ te „usjev“ u odnosu na sva druga mjerenja.



Grafikon 36. Biljci pristupačan fosfor u 2022. godini.
Različita mala slova između tretmana, odnosno velika slova između početka i kraja vegetacijske godine označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.3.2.7. Biljci pristupačan kalij

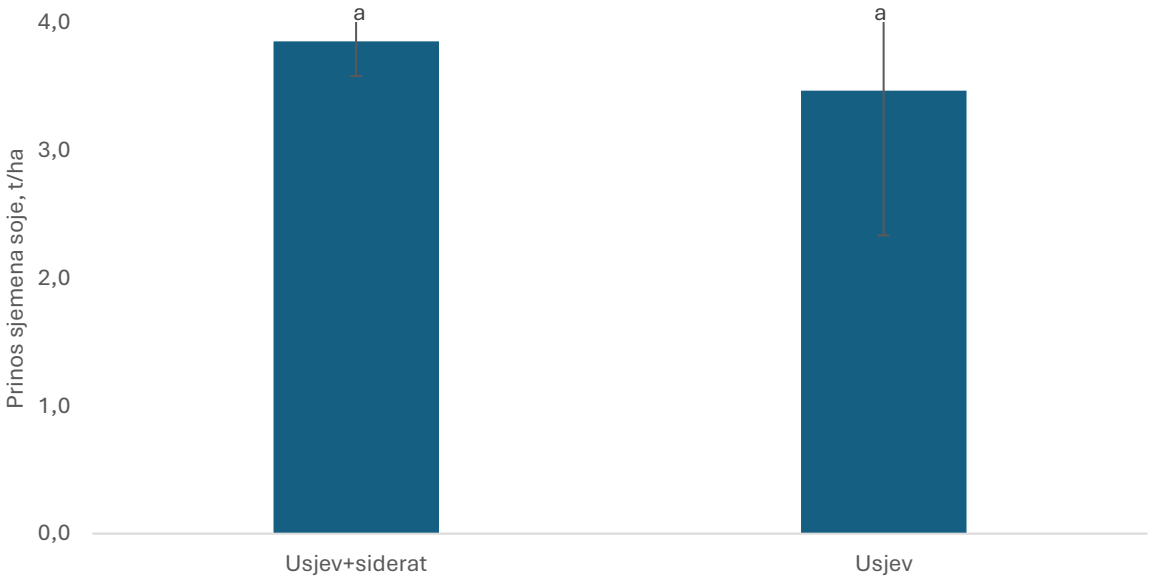
Značajno više vrijednosti biljci pristupačnog kalija u proljetnom uzorkovanju zabilježene su na tretmanu „ugar+siderat“ u odnosu na tretman „usjev+siderat“. Također i na tretmanu „ugar“ utvrđene su značajno više vrijednosti u odnosu na tretman „usjev+siderat“ (grafikon 37.). Vrijednosti biljci pristupačnog kalija u proljetnom mjerenju kretale su se od 11,40 mg/100 grama tla („usjev+siderat“) do 18,37 mg/100 grama tla („ugar+siderat“). U jesenskom mjerenju značajno više vrijednosti utvrđene su na tretmanu „ugar“ u odnosu na sve ostale tretmane. Na tretmanu „ugar+siderat“ zabilježene su značajno manje vrijednosti u odnosu na tretman „ugar“, ali isto tako i značajno više vrijednosti u odnosu na tretmane „usjev“ te „usjev+siderat“. Na tretmanu „usjev+siderat“ zabilježene su značajno manje vrijednosti biljci pristupačnog kalija u odnosu na sve druge tretmane. U jesenskom mjerenju vrijednosti biljci pristupačnog kalija kretale su se od 19,06 mg/100 grama tla („usjev+siderat“) do 36,87 mg/100 grama tla („ugar“). U pogledu sezonskog mjerenja (proljeće/jesen) značajno niža vrijednost je utvrđena na svim proljetnim mjerenjima u odnosu na jesenska mjerenja.



Grafikon 37. Biljci pristupačan kalij u 2022. godini.
Različita mala slova između tretmana, odnosno velika slova između početka i kraja vegetacijske godine označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.3.2.8. Prinos sjemena soje

Podaci prikazani na grafikonu 38. ukazuju da nisu utvrđene statistički značajne razlike u prinosu sjemena soje između različitih tretmana. Iako se vrijednosti razlikuju i iznose 3,86 t/ha zrna soje na tretmanu „usjev+siderat“ u odnosu na 3,47 t/ha zrna soje na tretmanu „usjev“ navedena razlika nije bila dovoljna za značajnu signifikantnost.



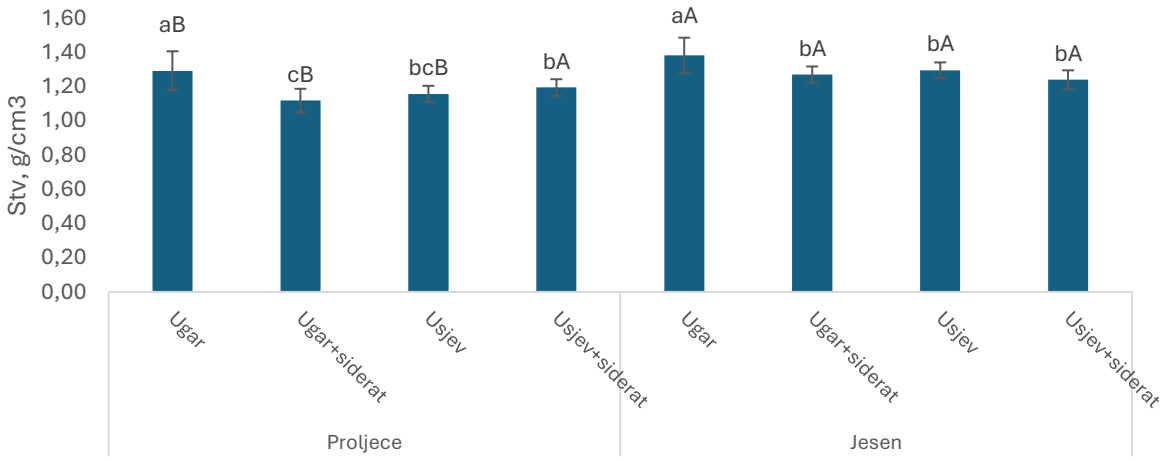
Grafikon 38. Prinos sjemena soje u 2022. godini.
Različita mala slova između tretmana označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.4. Treća godina istraživanja (2023.)

5.4.1. Fizikalne značajke tla

5.4.1.1. Volumna gustoća

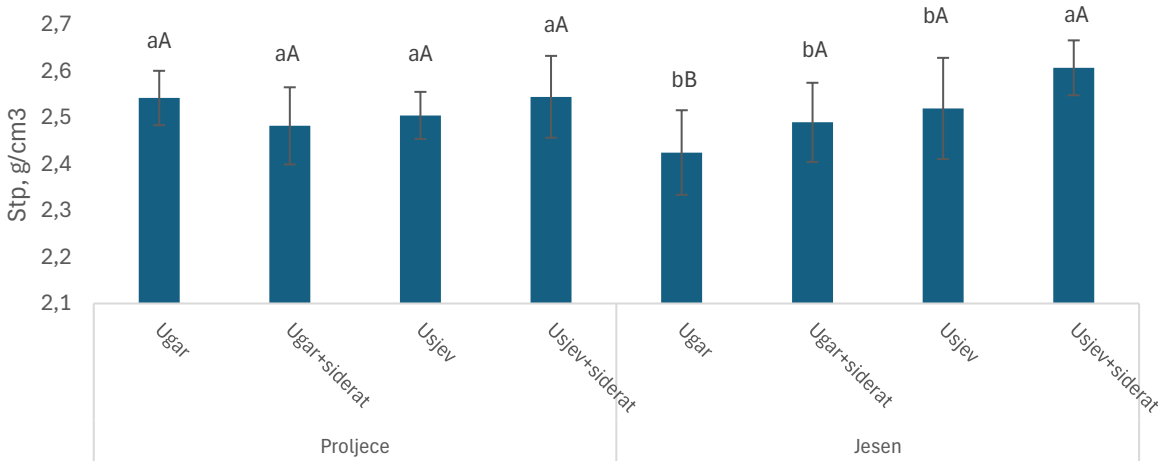
Grafikon 39. pokazuje da je na tretmanu „ugar“ zabilježena značajno viša volumna gustoća tla u odnosu na tri preostala tretmana pri proljetnoj pripremi tla za sadnju krumpira. Vrijednosti volumne gustoće tla u proljeće kretale su se od 1,12 g/cm^3 („ugar+siderat“) do 1,29 g/cm^3 („ugar“). Također i u jesenskom uzorkovanju zabilježena je značajno viša vrijednost volumne gustoće na tretmanu „ugar“ u odnosu na ostale tretmane. U jesenskom mjerenju vrijednosti volumne gustoće tla kretale su se od 1,24 g/cm^3 („usjev+siderat“) do 1,38 g/cm^3 („ugar“). Volumna gustoća tla u proljeće bila je značajno niža na tretmanima „ugar+siderat“, „usjev“ i „usjev+siderat“ u odnosu na proljetni tretman „ugar“. Između jesenskih tretmana nisu postojale značajne razlike. Jesenski tretmani imali su značajno veće vrijednosti volumne gustoće tla u odnosu na proljetni „ugar“, „ugar+siderat“ i „usjev“.



Grafikon 39. Volumna gustoća tla u 2023. godini.
Različita mala slova između tretmana, odnosno velika slova između početka i kraja vegetacijske godine označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.4.1.2. Gustoća čvrste faze

U pogledu prave gustoće tla u proljetnom mjerenju nisu zabilježene značajne razlike između istraživanih tretmana (grafikon 40.). Vrijednosti prave gustoće tla u proljeće kretale su se od 2,48 g/cm^3 („ugar+siderat“) do 2,54 g/cm^3 („ugar“ i „usjev+siderat“). U jesenskom mjerenju na tretmanu „usjev+siderat“ zabilježena je značajno viša vrijednost prave gustoće tla u odnosu na ostale tretmane. Vrijednosti prave gustoće tla u jesen kretale su se od 2,43 g/cm^3 („ugar“) do 2,61 g/cm^3 („usjev+siderat“). U pogledu sezone proljeće/jesen nisu postojale značajne razlike između proljetnih i jesenskih tretmana „ugar+siderat“, „usjev“ te „usjev+siderat“. Samo je na tretmanu jesenski „ugar“ zabilježena značajno niža vrijednost prave gustoće tla (2,42 g/cm^3) u odnosu na ostale tretmane.

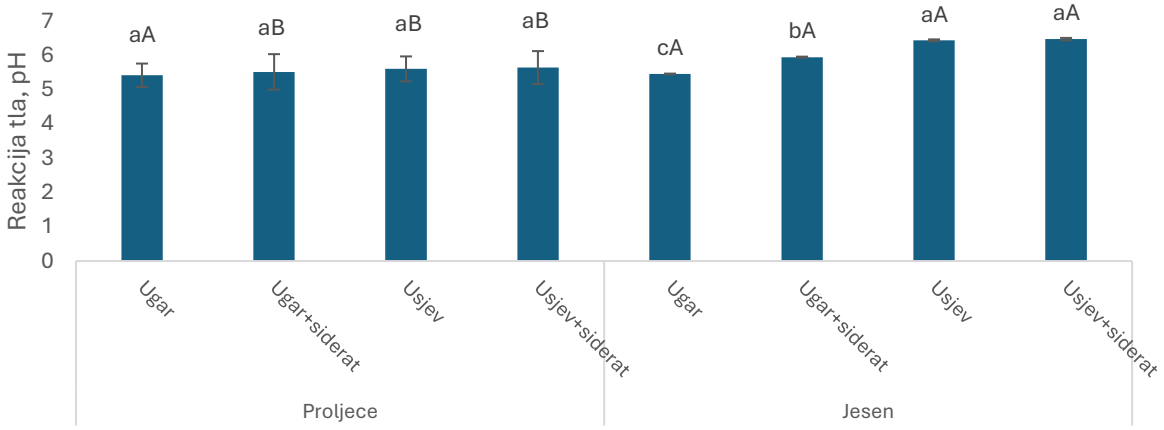


Grafikon 40. Gustoće čvrste faze u 2023. godini.
Različita mala slova između tretmana, odnosno velika slova između početka i kraja vegetacijske godine označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.4.2. Kemijske značajke tla

5.4.2.1. Reakcija tla

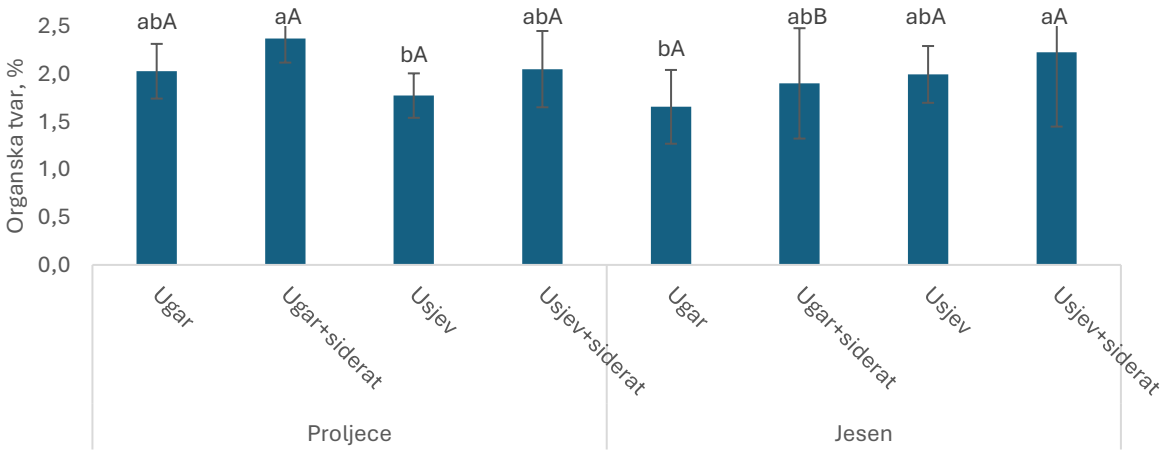
S grafikona 41. uočljivo je da tijekom treće godine istraživanja nisu zabilježene značajne razlike u vrijednosti reakcije tla u proljetnim mjerenjima. Najniža reakcija tla bila je na „ugaru“ 5,42, a najviša na tretmanu „usjev+siderat“ 5,64. U jesenskom mjerenju značajno niža vrijednoset reakcije tla utvrđena je na tretmanu „ugar“ u odnosu na ostale tretmane. Na tretmanu „ugar+siderat“ utvrđena je značajno viša vrijednost reakcije tla u odnosu na tretman „ugar“, te značajno manja vrijednost u odnosu na tretmane „usjev“ i „usjev+siderat“. U jesenskom mjerenju najniža reakcija tla je izmjerena na tretmanu „ugar“ (5,45), dok je najviša reakcija tla od 6,44 izmjerena na tretmanu „usjev“.



Grafikon 41. Reakcija tla u 2023. godini.
Različita mala slova između tretmana, odnosno velika slova između početka i kraja vegetacijske godine označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.4.2.2. Sadržaj organske tvari

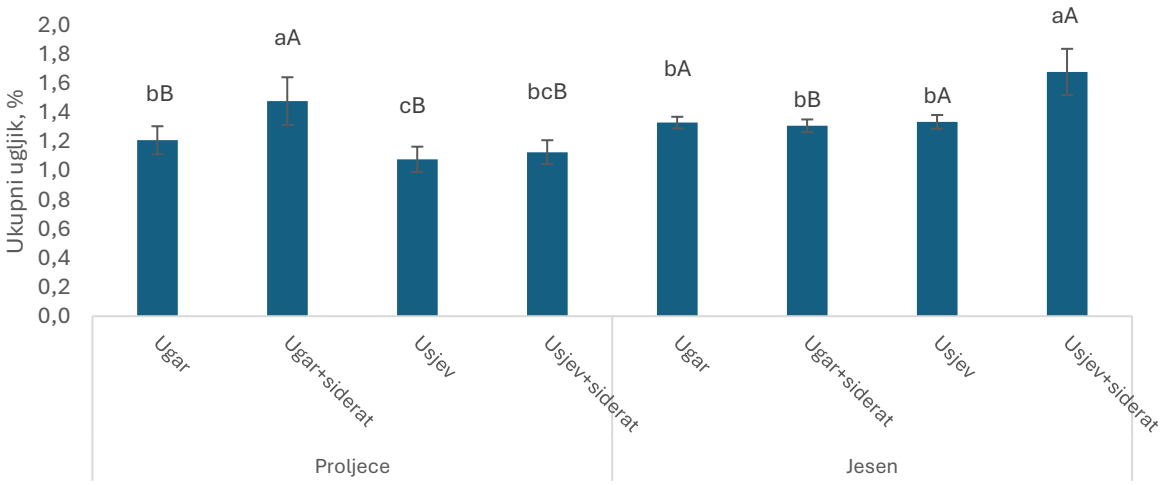
Na grafikonu 42. prikazane su vrijednosti organske tvari u tlu. Na tretmanu „ugar+siderat“ u proljetnom uzorkovanju utvrđena je značajno viša vrijednost sadržaja organske tvari u tlu u odnosu na tretman „usjev“. Između ostalih tretmana nisu utvrđene značajne razlike. Vrijednosti su se kretale od 1,78 % („usjev“) do 2,37 % („ugar+siderat“). U jesenskom uzorkovanju značajno niža vrijednost organske tvari utvrđena je na tretmanu „ugar“ u odnosu na tretman „usjev+siderat“. Između ostalih tretmana nisu utvrđene značajne razlike u pogledu organske tvari. Vrijednosti su se kretale od 1,65 % („ugar“) do 2,23 % („usjev+siderat“).



Grafikon 42. Sadržaj organske tvari u 2023. godini.
Različita mala slova između tretmana, odnosno velika slova između početka i kraja vegetacijske godine označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.4.2.3. Ukupni ugljik

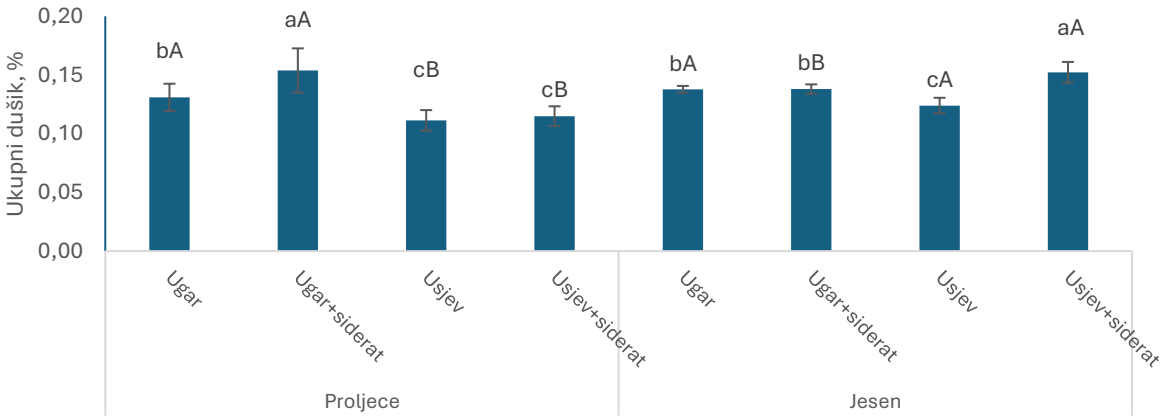
U proljetnom mjerenju značajno viši sadržaj ukupnog ugljika utvrđen je na tretmanu „ugar+siderat“ (grafikon 43.) u odnosu na ostale tretmane. Na tretmanu „ugar“ utvrđena je značajno viša vrijednost u odnosu na tretman „usjev“ te značajno niža vrijednost u odnosu na tretman „ugar+siderat“. U proljetnom mjerenju vrijednosti ukupnog ugljika kretale su se od 1,08 % („usjev“) do 1,48 % („ugar+siderat“). U jesenskom mjerenju značajno više vrijednosti ukupnog ugljika utvrđene su na tretmanu „usjev+siderat“ u odnosu na ostale tretmane. Vrijednosti su se kretale od 1,31 % („ugar+siderat“) do 1,68 % („usjev+siderat“). U pogledu sezonskih razlika (proljeće/jesen) utvrđene su značajne razlike između istraživanih tretmana.



Grafikon 43. Ukupni ugljik u 2023. godini.
Različita mala slova između tretmana, odnosno velika slova između početka i kraja vegetacijske godine označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.4.2.4. Ukupni dušik

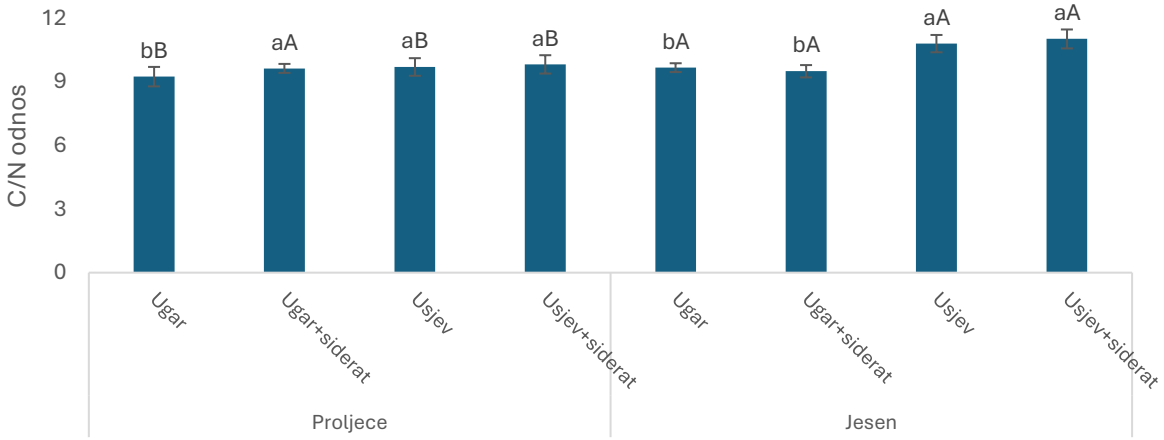
Vrijednosti ukupnog dušika za treću godinu istraživanja prikazane su na grafikonu 44. Na tretmanu „ugar+siderat“ zabilježene su značajno više vrijednosti u odnosu na sve ostale tretmane. Značajno niži sadržaj ukupnog dušika utvrđen je na tretmanima „usjev“ i „usjev+siderat“ u odnosu na tretmane „ugar“ i „ugar+siderat“. Vrijednosti ukupnog dušika u proljetnom uzorkovanju kretale su se od 0,11 % („usjev+siderat“) do 0,15 % („ugar+siderat“). U jesenskom mjerenju značajno viši sadržaj ukupnog dušika utvrđen je na tretmanu „usjev+siderat“ u odnosu na ostale tretmane. Na tretmanu „usjev“ utvrđen je značajno niži sadržaj ukupnog dušika u odnosu na ostale tretmane. Između tretmana „ugar“ i „ugar+siderat“ nisu utvrđene značajne razlike. Vrijednosti ukupnog dušika u jesenskom mjerenju kretale su se od 0,12 % („usjev“) do 0,15 % („usjev+siderat“). U pogledu sezonskih razlika (proljeće/jesen) utvrđene su značajne razlike između istraživanih tretmana.



Grafikon 44. Ukupni dušik u 2023. godini.
Različita mala slova između tretmana, odnosno velika slova između početka i kraja vegetacijske godine označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.4.2.5. C/N odnos

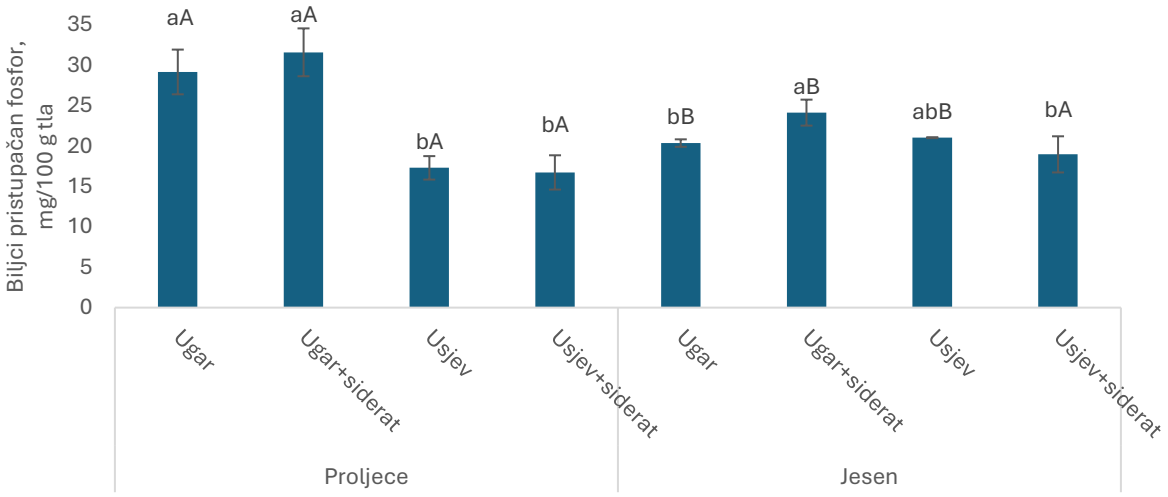
Odnos ugljik dušik (C/N odnos) za treću godinu istraživanja prikazan je na grafikonu 45. Značajno niži C/N odnos utvrđen je na tretmanu „ugar“ u odnosu na ostale tretmane. U proljetnom mjerenju nisu utvrđene značajne razlike između ostalih tretmana. Odnos ugljika i dušika kretao se od 9,25 % („ugar“) do 9,80 % („usjev+siderat“). U jesenskom uzorkovanju značajno viši odnos ugljika i dušika utvrđen je u tretmanima „usjev“ te „usjev+siderat“ u odnosu na tretmane „ugar“ i „ugar+siderat“. Odnos ugljika i dušika se kretao od 9,50 % („ugar+siderat“) do 11,02 % („usjev+siderat“). U pogledu sezonskog mjerenja (proljeće/jesen) utvrđene su značajne razlike između istraživanih tretmana.



Grafikon 45. C/N odnos u 2023. godini.
Različita mala slova između tretmana, odnosno velika slova između početka i kraja vegetacijske godine označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.4.2.6. Biljci pristupačan fosfor

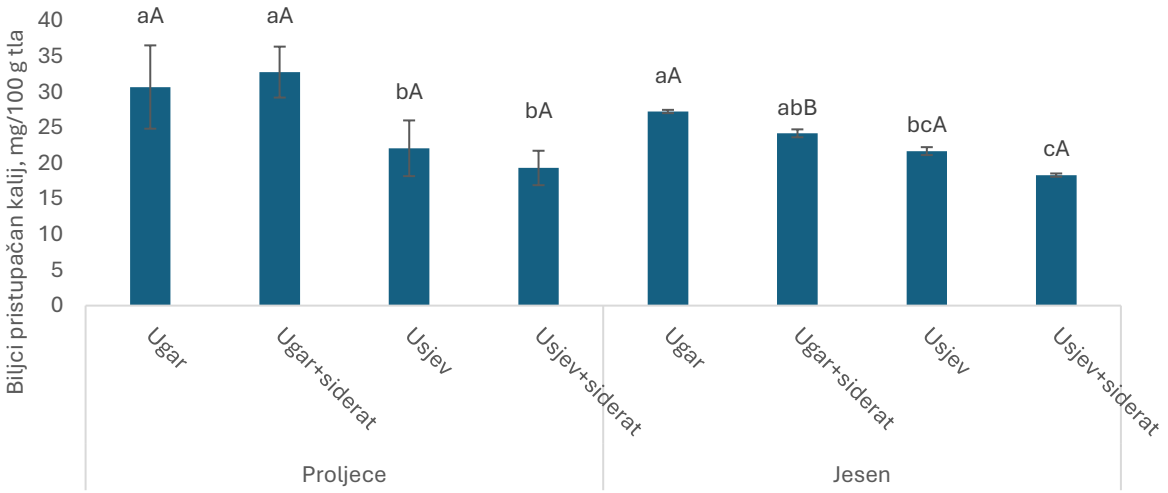
Značajno više vrijednosti biljci pristupačnog fosfora zabilježene su na tretmanima „ugar“ i „ugar+siderat“ u odnosu na tretmane „usjev“ i „usjev+siderat“ (grafikon 46.). Vrijednosti biljci pristupačnog fosfora u proljetnom mjerenju kretale su se od 17,31 mg/100 grama tla („usjev“) do 31,6 mg/100 grama tla („ugar+siderat“). U jesenskom mjerenju značajno više vrijednosti utvrđene su na tretmanu „ugar+siderat“ u odnosu na tretmane „ugar“ i „usjev+siderat“. U jesenskom mjerenju vrijednosti biljci pristupačnog fosfora kretale su se od 18,96 mg/100 grama tla („usjev+siderat“) do 24,13 mg/100 grama tla („ugar+siderat“). U pogledu sezonskog mjerenja (proljeće/jesen) utvrđene su značajne razlike.



Grafikon 46. Biljci pristupačan fosfor u 2023. godini.
Različita mala slova između tretmana, odnosno velika slova između početka i kraja vegetacijske godine označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.4.2.7. Biljci pristupačan kalij

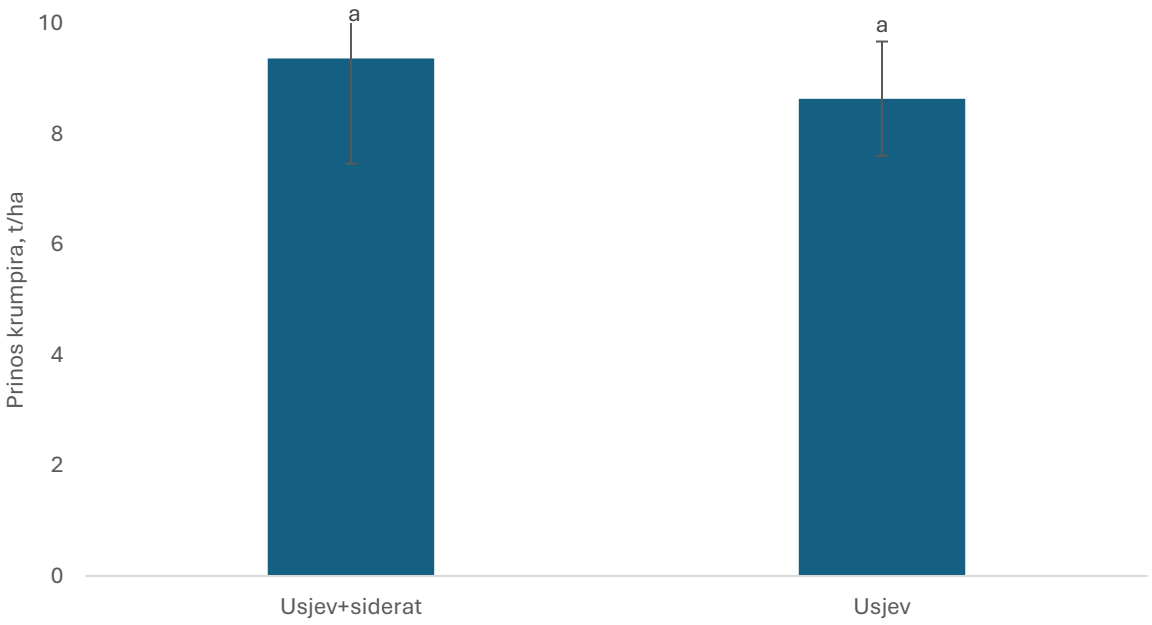
Značajno više vrijednosti biljci pristupačnog kalija u proljetnom mjerenju zabilježene su na tretmanima „ugar“ i „ugar+siderat“ u odnosu na tretmane „usjev“ i „usjev+siderat“ (grafikon 37.). Vrijednosti biljci pristupačnog kalija u proljetnom mjerenju kretale su se od 19,33 mg/100 g tla („usjev+siderat“) do 32,84 mg/100 g tla („ugar+siderat“). U jesenskom mjerenju značajno više vrijednosti utvrđene su na tretmanu „ugar“ u odnosu na sve ostale tretmane. Na tretmanu „usjev+siderat“ zabilježene su značajno manje vrijednosti u odnosu na ostale tretmane. U jesenskom mjerenju vrijednosti biljci pristupačna kalija kretale su se od 21,72 mg/100 grama tla („usjev+siderat“) do 27,26 mg/100 grama tla („ugar“). U pogledu sezonskog mjerenja (proljeće/jesen) utvrđene su značajne razlike.



Grafikon 47. Biljci pristupačan kalij u 2023. godini.
Različita mala slova između tretmana, odnosno velika slova između početka i kraja vegetacijske godine označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

5.4.2.8. Prirod krumpira

S grafikona 48. vidljivo je da nisu postojale značajne razlike u ostvarenom prirodu krumpira između različitih tretmana. Iako se tretman „usjev+siderat“ pokazao boljim (9,37 t/ha gomolja krumpira) u odnosu na tretman „usjev“ (8,64 t/ha gomolja krumpira) navedeno nije bilo dovoljno za statističku razliku.



Grafikon 48. Prirod krumpira.
Različita mala slova između tretmana, odnosno velika slova između početka i kraja vegetacijske godine označavaju značajnu razliku ($p<0.05$) prema Tukey post-hoc testu. Viseći stupci označavaju standardnu devijaciju.

6. RASPRAVA

Ovisno o izvoru informacija u/na tlu se stvara preko 90 % hrane pa je nezamjenjiva njegova uloga u suvremenom konceptu održivog gospodarskog razvitka koji će obilježiti stoljeće koje je započelo prije nešto više od 25 godina. Ključni oslonac tog razvitka je održiva (regenerativna) poljoprivreda u kojoj odlučujući značaj pripada održivom gospodarenju zemljišnim prostorom odnosno tlom (Verma i sur., 2023.). Budući da je primjena agrokemikalija u poljoprivredi zadnjih desetljeća uzrokovala negativne promjene u tlu i okolišu, u praksi se sve više govori o primjeni organskih gnojiva, poboljšivača tla, a posebno o primjeni zelene gnojidbe (Cuadros-Casanova i sur., 2023.). Zelena gnojidba je jedan od najučinkovitijih načina povećanja plodnosti tla unošenjem u tlo nadzemne mase samo za tu svrhu posebno uzgojenih kultura (Zhang i sur., 2025.). Yang i sur., (2020.) navode da se u Kini zelena gnojidba primjenjuje na 4,49 milijuna hektara što je ekvivalent zamjeni/proizvodnji od 400 do 810 tisuća tona mineralnih dušičnih gnojiva. Usjevi za zelenu gnojidbu vrlo često se nazivaju i pokrovnim usjevima (Couëdel i sur, 2018.). Oni su jeftiniji i okolišno prihvatljiviji način gnojidbe u odnosu na mineralna gnojiva (Kisić i Posavec, 2025.).

Zelena gnojidba i njezin utjecaj na stabilnost strukturnih agregata te ostala fizikalna, mikrobiološka i kemijska svojstva tla nije nešto novo. Jedno vrijeme (od 60-ih godina do kraja prošlog stoljeća) to je bio zaboravljen agrotehnički zahvat, budući da se u to vrijeme popularizirala mineralna gnojidba, dok se posljednjih desetljeća ovaj zahvat sve više vraća u praksu (Maitra i sur., 2018.; Boix-Fayos i De Vente 2023.). Zelena gnojidba je od nekih znanstvenika je vrlo hvaljen zahvat, pa se čak i precjenjuje njezin utjecaj na kvalitetu/zdravlje tla. Od drugih znanstvenika zelena gnojidba je podcjenjivana i zanemarivana. Zelena gnojidba ne zaslužuje ni jednu ni drugu ocjenu kao krajnjost, budući da su one rezultat suviše uskog i jednostranog promatranja ovog problema (Cherr i sur., 2006.; Ma i sur., 2021.). Zadnjih 10-ak godina zelena gnojidba i unošenje biljne mase u tlo dobiva novi nezamjenjivi smisao u pogledu ublažavanja i prilagodbi klimatskim promjenama. Zhang i sur., (2025.) naglašavaju da zelena gnojidba uključena u plodored može povećati sekvestraciju ugljika i ostalih stakleničkih plinova u tlu. Navedeno ukazuje da zelena gnojidba može imati ključnu ulogu u ublažavanju i prilagodbi klimatskim promjenama u bližoj budućnosti (Altieri i Nicholls, 2013.; Prajapati i sur., 2023.; Wang i sur., 2025.).

6.1. Volumna gustoća tla i gustoća čvrste faze tla

Prema Hazelton i Murphy (2025.) prosječne vrijednosti volumne gustoće tla na sva četiri istraživana tretmana kretale su se u okviru niskih graničnih vrijednosti. Tretman „ugar“ pokazuje relativno stabilan trend volumne gustoće tla kroz promatrani period. Početna vrijednost u jesen 2020. bila je 1,50, a u jesen 2023. godine iznosila je 1,45. Na tretmanu „ugar+siderat“ početna vrijednost bila je 1,53, a na kraju istraživanja 1,27. Na tretmanu „usjev“ početna vrijednost volumne gustoće tla bila je 1,52, a na kraju 1,29 dok je na tretmanu „usjev+siderat“ početna vrijednost bila 1,58, a na kraju istraživanja 1,24. Navedeno ukazuje da se volumna gustoća tijekom istraživanog perioda nije promijenila samo na tretmanu „ugar“ dok je na tri preostala tretmana došlo do smanjenja volumne gustoće tla. Suprotan trend zabilježen je u pogledu gustoće čvrste faze tla. Na početku istraživanja gustoća čvrste faze tla iznosila je od 2,58 („usjev“) do 2,63 („ugar“). Na kraju istraživanja vrijednosti gustoće neznatno su se promijenile i iznose od 2,49 („ugar+siderat“) do 2,61 („usjev+siderat“).

Breland, 1995.; Mandal i sur., 2003.; Blanco-Canqui i sur, 2015. naglašavaju da se na zbijenim tlima s povećanim gustoćama tla u svrhu smanjenja otpora tla i poboljšanja stabilnosti strukturnih agregata tla mogu koristiti pokrovni zeleni usjevi. Palchikov i sur. (2018.) naglašavaju da promjene volumne i prave gustoće tla primarno ovise o dubini prodiranja i razgranatosti korijenske mase usjeva za zelenu gnojidbu. Breland (1995.) utvrđuje smanjenje volumne gustoće tla poslije primjene usjeva za zelenu gnojidbu.

Vaziritibar i sur., (2025.) ukazuju da je u Europi skoro nemoguće pronaći klasičan jalovi ugar, a vrlo teško i klasičan zeleni ugar. Autori navedeno pojašnjavaju čistim pragmatičnim ekonomskim razlozima. Vlasniku parcele neisplativo je imati neobrađenu površinu na kojoj je jalovi ugar. Da bi spriječio širenje korova s ove površine na okolne površine gdje su poljoprivredni usjevi, vlasnik površine mora ju bar tri puta godišnje malčirati. Navedeno stvara dodatni trošak, a ne ostvaruje nikakav prinos ili korist. Vrlo slična je priča i sa zelenim ugarom unutar zemalja Europske unije posljednjih godina[2]. Iako EU propagira ostavljanje tla na odmoru s usijanim zelenim

[2] O svemu više na: https://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.boell.de/sites/default/files/2023-10/ e-paper-analysis-fallow-land.pdf

ugarom, vlasniku parcele nije isplativo sijati samo usjev radi poboljšanja fizikalnih, mikrobioloških i kemijskih parametara. Iz tih razloga većina poljoprivrednika kao zeleni ugar koristi interpolirane usjeve kraće vegetacije koji se siju između dva glavna usjeva od kojih poljoprivrednik ima financijsku korist. U ovom dijelu Europe do 80-ih godina prošlog stoljeća najčešće su se zeleni usjevi sijali poslije žetve ozimih kultura (ječam ili uljana repica) u kasno proljeće/rano ljeto i unosili u tlo prije sjetve ozimih kultura u listopadu (Jeromela i sur., 2017.). Uslijed sve izraženijih klimatskih promjena i nedostatka oborina tijekom ljeta od 80-ih godina prošlog stoljeća usjevi za zelenu gnojidbu siju se u jesen ili u veljači/ožujku i unose u tlo prije sjetve jarih kultura - kukuruza soje, suncokreta, krumpira, konoplje (Štafa i Stjepanović, 2015.).

Kharub i sur., (2004.) zaključuju da je zaoravanje usjeva za zelenu gnojidbu najviše djelovalo na smanjenje volumne gustoće tla. Mandal i sur., (2003.) utvrđuju da je došlo do smanjenja volumne gustoće tla i poboljšanja stabilnosti strukturnih agregata tla na tretmanima gdje je primijenjena zelena gnojidba i ljetni ugar. Mcguire i sur., (1998.) istražuju učinak zelene gnojidbe leguminozama umjesto klasičnog jalovog ugara. Autori utvrđuju niži sadržaj vlage u tlu na tretmanima sa zelenom gnojidbom u odnosu na plodorede s jalovim ugarom. Nixon i Simmonds (2004.) navode da zeleni ugar i zelena gnojidba nisu utjecali na volumnu gustoću tla, ali su uzrokovali povećanje kapaciteta tla za zrak, te infiltracijsku sposobnost tla. Saxena i Yadav (1998.) zaključuju da nakon provedene trogodišnje sjetve usjeva za zelenu gnojidbu nije došlo do značajnih promjena u volumnoj gustoći tla i reakciji tla. Almeida i sur., (2017.) na temelju desetogodišnjih istraživanja zaključuju da je tretman s ugarom bio puno učinkovitiji u smanjenju gubitka organskog ugljika te biljci pristupačnog fosfora i kalija u odnosu na tretman degradiranog tla prekomjernom ispašom. Sullivan i sur., (2024.) navode da je zeleni ugar bio puno učinkovitiji (značajno povećanje dušika i ugljika) u odnosu na jalovi ugar. Yao i sur., (2025.) zaključuju da je zelena gnojidba značajno povećala volumnu gustoću tla u odnosu na jalovi ugar. Li i sur., (2024.) utvrđuju da je primjena zelene gnojidbe uzrokovala smanjenje volumne gustoće tla. Toungos i Bulus (2019.) navode da je najveći učinak zelene gnojidbe u formiranju stabilnih strukturnih agregata tla. Mnogobrojni autori ukazuju da se u plodored dodaju interpolirani usjevi kraće vegetacije (usjevi za zelenu gnojidbu) čiji je primarni cilj kratkoročno zaštiti tlo od utjecaja atmosferilija (očuvati vlagu, spriječiti sve oblike erozije), a dugoročno povećati razinu organske tvari što će povećati stabilnost strukturnih agregata tla te spriječiti pojavu pokorice.

Temeljem navedenih radova i ostvarenih rezultata u ovom istraživanju nameće se zaključak da je jalovi ugar u klasičnom ratarskom smislu neodrživ način gospodarenja tlom. Zeleni ugar je ekonomski opstojan, ako se kao usjevi koriste kulture kratke vegetacije između dva glavna usjeva. Klasičan jalovi ugar bez uzgajanog usjeva je jedino moguć, ako bi se na ove površine vratilo stočarstvo odnosno ako bi se odmor tla koristio kao pašnjak za stoku. Poslije izvjesnog vremena (tri ili četiri godine) ova površina bi se trebala ponovno vratiti u ratarsku proizvodnju (Thiessen Martens i Entz, 2011.).

6.2. Reakcija tla

U pogledu reakcije tla na početku istraživanja najniža reakcija tla je utvrđena na tretmanu „usjev“ (5,53) zatim na tretmanu „ugar+siderat“ (5,87), na tretmanu „ugar“ (6,14) i na tretmanu „usjev+siderat“ 6,53. Na kraju istraživanja na tretmanima „ugar“ i „usjev+siderat“ reakcija se smanjila i iznosila je 5,46 odnosno 6,47. Na tretmanima „ugar+siderat“ i „usjev“ reakcija tla se povećala i iznosila je 5,95 odnosno 6,44. Kharub i sur., (2003.) utvrđuju na plodoredima sa zelenom gnojidbom smanjenje elektroprovodljivosti i reakcije tla u odnosu na plodorede bez zelene gnojidbe. Također, Li i sur., (2024.) utvrđuju da je primjena zelene gnojidbe uzrokovala smanjenje reakcija tla. Totalno suprotno, Yao i sur., (2025.) navode da je zelena gnojidba značajno povećala reakciju tla. Singh i sur., (2009.) promjenu reakcije tla u istraživanim tretmanima direktno povezuju s vremenom primjene usjeva za zelenu gnojidbu te (ne)primjenom mineralnih gnojiva.

Temeljem provedenih trogodišnjih istraživanja u Velikim Zdencima vidljivo je da su promjene vrijednosti reakcije tla na istraživanim tretmanima „ugar+siderat“ te „usjev+siderat“ relativno male - odnose se na drugo decimalno mjesto. Na tretmanima „ugar“ te „usjev“ promjene reakcije tla relativno su izraženije od 0,7 do 0,9 jedinične vrijednosti reakcije tla. Na učinkovitost usjeva za zelenu gnojidbu i njihovu ovisnost o agrookolišnim uvjetima tijekom godine istraživanja ukazuju Fageria (2007.), Liang i sur., (2022.), Wang i sur., (2025.), Xue i sur., 2026.

6.3. Organska tvar, ukupni ugljik, ukupni dušik i C/N odnos

Zaoravanje biljne „žive“ zelene mase radi poboljšanja plodnosti tla započelo je prije nekoliko tisuća godina u Kini i Indiji, a u Europi tek početkom 18 stoljeća (Bašić i Herceg 2010.). Velika većina istraživača koji su se bavili ovom problematikom u svojim istraživanjima ukazuju da je poslije primjene usjeva za zelenu gnojidbu došlo do povećanja razine organske tvari u tlu te ukupnog ugljika u tlu. Istraživači koji nisu utvrdili povećanje razine organske tvari u tlu primarno to povezuju s nedostatnom količinom biljne mase koja je unesena u tlo ili prekratkim vremenom istraživanja (jednogodišnji pokusi).

U skladu sa svjetskim istraživanjima i u ovim istraživanjima u Velikim Zdencima utvrđeno je da su se najveće promjene dogodile u pogledu vrijednosti sadržaja organske tvari. Na tretmanu „ugar“ skoro da nije bilo promjena, na početku istraživanja tlo je sadržavalo 1,65 % organske tvari, a na kraju istraživanja 1,66 %. Na tretmanu „ugar+siderat“ sadržaj organske tvari povećao se sa 1,28 % na 1,91 % (0,63 %), na tretmanu „usjev“ sadržaj organske tvari povećao se za 0,55 %, s 1,35 % na 1,9 % i na tretmanu „usjev+siderat“ sadržaj organske tvari povećao se za 0,65 % s 1,58 % na 2,23 %.

Do sličnih rezultata u svojim istraživanjima došli su Verma i sur., (2023.). Također Yang i sur., (2023.) utvrđuju značajno povećanje organske tvari i ukupnog dušika u primjeni zelene gnojidbe, ali isto tako i značajno smanjenje biljci pristupačnog fosfora. Li i sur., (2024.) utvrđuju da je primjena zelene gnojidbe povećala ukupni dušik te sadržaj organske tvari. Mosavi i sur. (2012.) iako primjenjuju slične količine zelene mase u istraživanju ne utvrđuju promjene u sadržaju organske tvari u svojim jednogodišnjim istraživanjima. Curtin i sur., (2000.) zbog ekonomske neisplativosti ugara istražuju njegovu zamjenu sa sjetvom leguminoza kao usjeva za zelenu gnojidbu. Poslije trogodišnjih istraživanja autori zaključuju da provođenje zelene gnojdibe nije imalo značajan utjecaj na porast sadržaja ugljika u tlu. Navedeno autori tumače s relativno niskom količinom unesene biljne mase u tlo.

Također i u pogledu ukupnog ugljika na svim tretmanima u Velikim Zdencima došlo je do povećanja vrijednosti ovog parametra. Najmanje promjene dogodile su se na tretmanu „ugar“ gdje je povećanje bilo za 0,08 %, s 1,25 % na 1,33 %. Na tretmanu „ugar+siderat“ povećanje je iznosilo 0,43 % s 0,88 % na 1,31 %, na tretmanu „usjev“ povećanje je iznosilo 0,41 % s 0,93 % na 1,34 %, a na tretmanu „usjev+siderat“

zabilježeno je najveće povećanje koje je iznosilo 0,49 % s 1,19 % na 1,68 %. O'Dea i sur., (2013.) u trogodišnjim istraživanjima utvrđuju skoro identično povećanje ukupnog ugljika u tlu.

U pogledu ukupnog dušika na tretmanima „ugar“ te „ugar+siderat“ zabilježeno je smanjenje ukupnog dušika za 0,08 % („ugar“) odnosno 0,15 % („ugar+siderat“), dok je na tretmanima „usjev“ te „usjev+siderat“ zabilježeno povećanje ukupnog dušika za 0,02 % kod tretmana „usjev“ odnosno 0,03 % kod tretmana „usjev+siderat“. O'Dea i sur., (2013.) utvrđuju da je primjena zelene gnojidbe povećala prosječnu učinkovitost korištenja dostupnog dušika za 24 %. Yu i sur., (2024.) utvrđuju povećan sadržaj ukupnog ugljika i dušika poslije primjene zelene gnojidbe. Gangwar i sur., (2004.) pri primjeni usjeva za zelenu gnojidbu utvrđuju povećan sadržaj ukupnog ugljika u tlu.

U pogledu povećanja ukupnog ugljika i dušika u tlu do sličnih zaključaka dolaze Chauhan i sur., (2001.), Tejada i sur., (2008.) te Park i Lee (2025.). Mcguire i sur., (1998.) utvrđuju viši sadržaj ukupnog dušika na tretmanu s ugarom u odnosu na tretmane sa zelenom gnojidbom. Nair i Gupta (1999.) navode da zelena gnojidba nije imala rezidualni učinak na usvajanje dušika te biljci pristupačnog fosfora i kalija. Saxena i Yadav (1998.) poslije trogodišnjih istraživanja zaključuju da se signifikantno povećao sadržaj organskog ugljika na tretmanima sa zelenom gnojidbom. Povećanje biljci pristupačnog fosfora i kalija, ukupnog dušika i organske tvari u tlu u primjeni zelenog ugara u odnosu na klasični jalovi ugar utvrđuju Yao i sur., (2025.). Mandal i sur., (2003.) utvrđuju povećan sadržaj organske tvari i ukupnog dušika na tretmanima gdje je primjenjena zelena gnojidba u odnosu na kontrolu - ljetni ugar.

Kao što je bilo za očekivati temeljem utvrđenih promjena ugljika i dušika na svim tretmanima poslije trogodišnjeg istraživanja u pogledu odnosa ugljika i dušika zabilježeno je povećanje ovog odnosa. Na tretmanu „ugar“ na početku istraživanja C/N odnos je bio 8,9 dok je na kraju istraživanja taj odnos iznosio 9,7. Na tretmanu „ugar+siderat“ početna vrijednost je bila 8,7, a na kraju 9,5. Na tretmanu „usjev“ početna vrijednost je bila 9,0, a na kraju 10,8. Najveća razlika u pogledu vrijednosti C/N odnosa zabilježena je na tretmanu „usjev+siderat“ gdje je početna vrijednost u jesen 2020. godine bila 8,9, a u jesen 2023. godine 11,0. Slične promjene C/N odnosa utvrdili su Cheer i sur., (2006.), Tejada i sur., (2008.) te Dannehl i sur., (2017.).

6.4. Biljci pristupačan fosfor i kalij

U pogledu ukupnog ili biljci pristupačnog fosfora i kalija razni znanstvenici utvrdili su različite vrijednosti. Neki su u svojim istraživanjima utvrdili više ukupnog ili biljci pristupačnog fosfora i kalija, neki su utvrdili manje fosfora i kalija, dok su neki utvrdili više fosfora, a manje kalija, vrijedi i obratno. Slični rezultati ostvareni su i u ovim istraživanjima. Tretman „usjev+siderat“ bilježi relativno malo smanjenje biljci pristupačnog fosfora s 19,53 mg/100 grama tla na početku istraživanja na 18,97 mg/100 grama tla na kraju istraživanja. Preostala tri tretmana bilježe povećanje biljci pristupačnog fosfora. Na tretmanu „ugar“ taj se odnos kreće od 18,10 mg/100 grama tla u jesen 2020. godine do 20,37 mg/100 grama tla na kraju istraživanja u jesen 2023. godine. Na tretmanu „ugar+siderat“ na početku istraživanja u tlu je bilo 12,70 mg/100 grama tla, a na kraju 24,13 mg/100 grama tla dok je na tretmanu „usjev“ povećanje bilo za 2,96 mg/100 grama tla s 13,07 na 16,03 mg/100 grama tla.

U pogledu biljci pristupačnog kalija na tretmanu gdje je bio „ugar“ zabilježeno je povećanje, a na tretmanu gdje je bio „usjev“ zabilježeno je smanjenje biljci pristupačnog kalija. Na tretmanu „ugar“ povećanje je bilo za 3,94 mg/100 grama tla s 23,33 na 27,27 mg/100 grama tla. Na tretmanu „ugar+siderat“ povećanje je bilo za 5,07 mg/100 grama tla s 19,13 na 24,2 mg/100 grama tla. Na tretmanu „usjev“ smanjenje je bilo za 6,6 mg/100 grama tla s 28,3 na 21,7 mg/100 grama tla. Na tretmanu „usjev+siderat“ smanjenje je bilo za 3,5 mg/100 grama tla odnosno s 24,2 na 20,7 mg/100 grama tla. Gangwar i sur., (2004.) pri primjeni usjeva za zelenu gnojidbu utvrđuju povećan sadržaj biljci pristupačnog fosfora i kalija. Kharub i sur., (2003.) utvrdli su u uzgoju monokulture sesbanije u odnosu na plodored bez zelene gnojidbe, povećan sadržaj biljci pristupačnog fosfora i kalija. Kharub i sur., (2004.) zaključuju da je zelena gnojidba dala bolje rezultate u pogledu biljci pristupačnog fosfora i kalija u odnosu na unošenje požnjevene slame riže u tlo. Su i sur., (2022.). istražuju utjecaj smanjenja mineralne gnojidbe i povećanja primjene zelene gnojidbe. Autori zaključuju da je pri primjeni zelene gnojidbe došlo do povećanja organskog ugljika u tlu te biljci pristupačnog fosfora i kalija. Yang i sur., (2023.) utvrđuju značajno smanjenje biljci pristupačnog fosfora poslije primjene zelene gnojidbe. Li i sur., (2024.) utvrđuju da je primjena zelene gnojidbe povećala sadržaj ukupnog fosfora. Singh i Sharma (2002.) kod svih plodoreda sa zelenom gnojidbom utvrđuju pozitivnu bilancu za biljci pristupačan fosfor te negativnu bilancu za biljci pristupačan kalij. Yang i sur., (2020.) te

Ma i sur., (2021.) ukazuju da je višak odnosno manjak hranjiva u plodoredu direktno ovisan o vrstama poljoprivrednih usjeva koji su zastupljeni u plodoredu.

Pregled međunarodnih istraživanja u pogledu promjena ukupnog ili biljci pristupačnog fosfora i kalija potvrđuje ostvarene rezultate u istraživanjima provedenim u Velikim Zdencima. Promjene koje su se desile nisu značajno različite. Važno je naglasiti da se u ovim israživanjima nisu koristila mineralna gnojiva pa je bilo i za očekivati vrlo slabe promjene u pogledu biljci pristupačnog fosfora. U pogledu biljci pristupačnog kalija istraživani tretmani su podijeljeni na one s „ugarom“ i one s „usjevom“. Na tretmanima gdje je bio „ugar“ utvrđeno je povećanje biljci pristupačnog kalija dok je na tretmanima gdje je bio „usjev“ zabilježeno smanjenje biljci pristupačnog kalija. Navedeno ne iznenađuje budući da je krumpir bio zadnja kultura u istraživanju, a opće poznato je da je krumpir kaliofilna biljka odnosno biljka koja ima veće potrebe za kalijem (Varga, 2024.). Krumpir ima izuzetno visoke potrebe za kalijem i troši ga oko 50 % više nego dušika. Za visoke prinose potrebno je osigurati u vegetacijskoj sezoni od 300 do 450 kg/ha biljci pristupačnog kalija. Budući da tri godine nije provedena mineralna gnojidba na istraživanim tretmanima bilo je za očekivati smanjenje biljci pristupačnog kalija na kraju ovih istraživanja.

6.5. Ostvareni prinosi uzgajanih kultura: kukuruza, soje i krumpira

Ostvareni prinos uzgajanih poljoprivrednih kultura ovisi o velikom broju čimbenika, a na prvom mjestu je plodnost/kvaliteta tla i agrookolišni uvjeti. Plodnost tla je sposobnost tla da biljci osigura optimalne uvjete za rast i razvoj, odnosno dostatnu količinu hranjiva, vode, zraka i topline. Potrebna hranjiva tlu možemo osigurati primjenom mineralnih ili organskih gnojiva te raznih poboljšivača tla. U ovim istraživanjima odlučeno je da će se samo primjenjivati organska gnojiva - zelena gnojidba. Vjerojatno je navedeno, uz klimatske (ne)prilike, razlog za ostvarene prinose uzgajanih kultura tijekom trogodišnjih istraživanja.

U prvoj godini istraživanja kao test kultura bio je zasijan kukuruz. Prinos zrna kukuruza na tretmanu „usjev+sideracija“ je čak nešto niži i iznosi 7,58 t/ha suhog zrna u odnosu na 7,81 t/ha suhog zrna na tretmanu „usjev“. Yang i sur., (2023.) utvrđuju povećanje prinosa zrna kukuruza na tretmanima sa zelenom gnojidbom u odnosu na kontrolu (bez zelene gnojidbe). Do sličnih rezultata došli su Tejada i sur., (2008.) te Li

i sur., (2024.) koji su utvrdili povećanje prinosa kukuruza za 30 % odnosno 40 % u odnosu na tretmane bez zelene gnojidbe. Mcguire i sur., (1998.) zaključuju da primjena zelene gnojidbe nije utjecala na prinose pšenice, dok Li i sur., (2024a) utvrđuju suprotno, odnosno povećanje prinosa pšenice na tretmanima sa zelenom gnojidbom u odnosu na tretmane bez zelene gnojidbe. Krstić i sur., (2018.) ukazuju da je zelena gnojidba uzrokovala osjetan manjak vode u tlu u odnosu na tretmane bez zelene gnojidbe. Navedeno je dovelo do smanjenja prinosa kukuruza na tretmanima sa zelenom gnojidbom. Do sličnih zaključaka o manjku vode u tlu pri primjeni usjeva za zelenu gnojidbu dolaze Adimassu i sur. (2019.) na teksturno lakšim pjeskovitim tlima. Isti autori utvrđuju pozitivan učinak zelene gnojidbe na teksturno težim tlima zbog povećane transpiracije usjeva za zelenu gnojidbu. Prihar i sur., (2021.) utvrđuju smanjenje prinosa zrna kukuruza nakon unošenje djeteline inkarnatke u tlo.

Tijekom druge godine istraživanja kao test kultura bila je zasijana soja. Na tretmanu „usjev+siderat“ ostvaren je relativno viši prinos zrna sjemena soje (3,86 t/ha) u odnosu na tretman „usjev“ gdje je zabilježeno 3,47 t/ha zrna soje. Navedena razlika nije bila dovoljna za značajnu signifikantnost.

Tijekom treće godine istraživanja kao test kultura bio je zasijan krumpir. Iako se tretman „usjev+siderat“ pokazao boljim (9,37 t/ha gomolja krumpira) u odnosu na tretman „usjev“ (8,64 t/ha gomolja krumpira) navedeno nije bilo dovoljno za statističku razliku. Važno je naglasiti da su ostvareni prinosi u ovoj godini ispod hrvatskog prosjeka (15-20 t/ha), a daleko ispod prosjeka Europske unije (35-45 t/ha)[3]. Temeljni razlog za ovako niske prinose krumpira bile su ekstremno nepovoljne prilike za uzgoj ove kulture u 2023. godini.

Kismányoky i Toth (1997.) ostvarene prinose pšenice i kukuruza direktno vežu uz primjenu zelene gnojidbe. Ako su godinu prije pšenice i kukuruza bili posijani usjevi za zelenu gnojidbu prinos pšenice se povećao za 30 % i kukuruza 50 %. Zhao i sur., (2024.) zaključuju da su se tretmani s primjenom zelene gnojidbe uz primjenu mineralnih gnojiva pokazali značajno povoljnijim u pogledu ostvarenih prinosa pšenice, kukuruza i suncokreta. Gangwar i sur., (2004.) utvrđuju signifikantno viši prinos pšenice i riže poslije unošenja 6 t/ha zelene mase (ili cca 80 kg/ha dušika) u odnosu na kontrolu. Kharub i sur., (2003.) u plodoredima sa i bez zelene gnojidbe utvrđuju značajno više prinose pšenice i krumpira u plodoredima sa zelenom gnojidbom.

[3] https://gospodarski.hr/rubrike/povrcarstvo-rubrike/u-hrvatskoj-losa-godina-za-krumpir-a-u-europi-rekordna/

Značajno više prinose zrna riže na tretmanima sa zelenom gnojidbom u odnosu na tretmane bez zelene gnojidbe utvrđuju Saxena i Yadav (1998.). Kuzminykh i sur. (2020.) zaključuju da je na tretmanima sa zelenom gnojidbom utvrđen manji broj korovskih biljaka te je povećan prinos zrna raži u odnosu na tretmane s jalovim ugarom. Gao i sur., (2024.) ukazuju da primjena zelene gnojidbe može zamijeniti mineralnu gnojidbu. Učinak usjeva za zelenu gnojidbu smanjivao se od lucerne prema grahorici i uljanoj repici. Fageria i sur., (2007.) učinak usjeva za zelenu gnojidbu povezuju s (ne)povoljnim agrokolišnim uvjetima tijekom godine istraživanja. Ako su agrookolišni uvjeti bili vrlo dobri, iskazala se puna učinkovitost usjeva za zelenu gnojidbu - formiranje bujne podzemne i osobito nadzemne mase. Vrijedi i obratno, ako se agrokolišni uvjeti (agronomska suša ili povećana količina oborina) bili nepovoljni pri zahvatu njihova unošenja u tlo, usjevi za zelenu gnojidbu nisu iskazali svoj punu učinkovitost. Yang i sur., (2020.) naglašavaju važnost regionalnog pristupa u primjeni usjeva za zelenu gnojidbu.

Provedena trogodišnja istraživanja vezana uz promjenu fizikalno-kemijskih značajki tla i prinosa uzgajanih jarina ukazuju na naredno. Zabilježene su pozitivne očekivane promjene u pogledu povećanja razine organske tvari u tlu te ukupnog ugljika i dušika u tlu. Neke izraženije promjene u pogledu biljci pristupačnog fosfora i kalija nisu se mogle ni očekivati, budući da tijekom istraživanja nisu primjenjivana mineralna gnojiva. Bilo je za očekivati da će se utvrditi veće značajnije razlike u pogledu ostvarenih prinosa. No, to se nije dogodilo primarno zbog izrazito nepovoljnih klimatskih prilika koje su bile registrirane tijekom provođenja ovih trogodišnjih istraživanja. U prvoj godini istraživanja kada je na pokusnom polju bio zasijan kukuruz, od lipnja pa do kraja rujna 2021. godine, zabilježen je nedostatak oborina od ukupno 157,4 mm u odnosu na višegodišnji prosjek (meteorološka suša). Uslijed ovog manjka oborina utvrđen je i nedostatak vode koji je s jedne strane uzrokovao smanjenje razgradnje unesene zelene mase, a s druge strane nije ni došlo do zadovoljavajućeg nalijevanja zrna u mliječnoj zriobi (agronomska suša) što se sve manifestiralo smanjenim prinosom zrna kukuruza. I u drugoj godini istraživanja prinos zrna soje nije pokazao značajne razlike između tretmana sa i bez zelene gnojidbe. Kao i u prvoj godini istraživanja razlog za navedeno pronalazi se u nepovoljnim klimatskim uvjetima tijekom 2022. godine. Svibanj 2022. godine bio je u prosjeku topliji za 1,8 °C, lipanj za 2,7 °C, srpanj za 1,5 °C i kolovoz 1,3 °C. U rujnu je palo 286,3 mm oborina što je 172 mm više u odnosu na višegodišnji prosjek. I treća godina bila je obilježena ekstremnim

vremenskim prilikama. U svibnju 2023. godine palo je 172 mm oborina neposredno poslije sadnje krumpira u svibnju što je za 80 mm više u odnosu na višegodišnji prosjek. Od lipnja do rujna prvo je zabilježena meteorološka suša (lipanj za 0,4 °C, a srpanj za 1,6 °C više prosječne mjesečne temperature u odnosu na višegodišnji prosjek), a od rujna i listopada agronomska suša gdje su zabilježene više prosječne mjesečne temperature od 3,1 °C (rujan) i 4,3 °C (listopad). Temeljem navedenoga klimatske prilike pojedine godine vjerojatno su utjecale na ostvareni prinos.

7. ZAKLJUČAK

Tijekom trogodišnjeg istraživanja različitih tretmana ugara i zelenog ugara s usjevom ili bez usjeva te njihove interakcije s fizikalno-kemijskim parametrima tla i prinosima ratarskih kultura i krumpira, utvrđene su brojne promjene i međusobne povezanosti između parametara tla i prinosa, ali i određene kontradikcije koje ukazuju na složenost agroekosustava i uzgoja usjeva na otvorenom.

Volumna gustoća tla (Stv) pokazala je značajne sezonske i međugodišnje promjene pri čemu su se razlike između tretmana u pravilu pojavile unutar iste vegetacijske godine dok su razlike između vegetacijskih godina bile manje izražene. Tretmani sa zelenom gnojidbom u pravilu su imali povoljniji (manji) porast gustoće čvrte faze tla što ukazuje na pozitivnu ulogu zelene gnojidbe u očuvanju stabilnosti strukturnih agregata tla.

Gustoća čvrste faze tla (Stp) pokazala je visoku stabilnost kroz istraživano vrijeme s manjim oscilacijama što potvrđuje da je taj čimbenik više određen mineralnim sastavom tla nego istraživanim tretmanima.

Reakcija tla je u većini tretmana zadržala blago kiselu reakciju uz sezonski trend viših vrijednosti u jesen. Ove promjene mogu se pripisati mineralizaciji organske tvari, ispiranjima kationa tijekom vegetacije te različitim procesima nitrifikacije.

Sadržaj organske tvari i ukupnog ugljika (TC) pokazali su postupno povećanje tijekom godina osobito u tretmanima sa zelenom gnojidbom. Ovaj trend je pokazatelj akumulacije organske tvari u tlu koja poboljšava stabilnost strukturnih agregata tla, a samim time i plodnost tla. Međutim, unatoč povećanju ovih parametara, prinosi nisu proporcionalno rasli što ukazuje na kompleksnost prinosa koji su uvjetovani i mnogim drugim vanjskim (vremenskim) čimbenicima, a ne samo promjenama fizikalno-kemijskih parametara u tlu.

Ukupni dušik (TN) mijenjao se tijekom godina s najvećim vrijednostima u trtetmanu ugar+siderat što potvrđuje sposobnost zelene gnojidbe da obogaćuje tlo dušikom. Međutim, soja kao leguminoza pokazala je slabiji odgovor na povećani ukupni dušik u tlu, vjerojatno zbog svoje simbioze s dušikovim fiksatorima dok je kod krumpira i kukuruza opažen negativan utjecaj previsokih vrijednosti ukupnog dušika na prinos.

C/N odnos je bio pokazatelj kvalitete organske tvari i intenziteta mineralizacije u tlu. Najuravnoteženije vrijednosti uočene su u tretmanima sa zelenom gnojidbom. Tretmani s preniskim ili previsokim C/N odnosom pokazali su slabiju učinkovitost i veću varijabilnost prinosa.

Biljci pristupačan fosfor i biljci pristupačan kalij u tlu pokazali su značajne promjene između sezona i tretmana, ali bez jasno izražene povezanosti s prinosima. Biljci pristupačan fosfor je imao tendenciju smanjenja u nekim tretmanima sa zelenom gnojidbom, vjerojatno zbog vezivanja u organsku tvar ili fiksacije u slabije dostupne oblike. Biljci pristupačan kalij se u tretmanima „ugar“ i „ugar + siderat“ zadržao u višim koncentracijama što je povezano s manjim unosom nadzemne biljne mase.

Unatoč pozitivnim trendovima u parametrima tla, prinosi kukuruza, soje i krumpira nisu značajno varirali između istraživanih tretmana što ukazuje na složenost interakcije između dostupnih hranjiva, fizikalnih svojstava tla, klimatskih uvjeta i specifičnih zahtjeva istraživanih usjeva. Naime, poboljšana kemijska svojstva tla nisu automatski rezultirala višim prinosima zbog vremenskih uvjeta tijekom vegetacije (ili suša ili prekomjerne oborine) što je uzrokovalo nedostatak ili suvišak vode u tlu.

U trogodišnjem razdoblju (2021.-2023.) prinosi zrna kukuruza, sjemena soje i gomolja krumpira najviše su ovisili o vremenskim prilikama, pri čemu su agronomska suša (2021. i 2022.) i višak oborina (2023.) bili ključni ograničavajući čimbenici za viši prinos i djelovanje zelene gnojidbe. Zelena gnojidba nije značajno utjecala na prinose jer su ekstremne klimatske neprilike umanjile njezin potencijalni doprinos. Time je potvrđeno da vremenski uvjeti imaju presudan utjecaj na prinos, više nego same provedene agrotehničke mjere.

7.1. EVALUACIJA POSTAVLJENIH HIPOTEZA

Hipoteza 1:

"Ugar i zelena gnojidba pozitivno utječu na poboljšanje fizikalno-kemijskih značajki tla."

Tijekom tri godine istraživanja, svi tretmani koji su uključivali zelenu gnojidbu i/ili ugar pokazali su pozitivne promjene u kemijskim svojstvima tla: povećanje organske tvari, ukupnog ugljika (C), ukupnog dušika (TN), te povoljniji C/N odnos.

Kod fizikalnih značajki, tretmani s ugarom i zelenom gnojidbom pokazali su nižu ili stabilniju vrijednost volumne gustoće tla, što znači manju zbijenost. U nekim godinama vrijednosti su bile nedovoljno izražene i ovisile su o sezonskim uvjetima i tipu usjeva.

Hipoteza 1 je potvrđena. Tretmani s ugarom i zelenom gnojidbom pozitivno su djelovali na većinu analiziranih fizikalno-kemijskih parametara tla.

Hipoteza 2:

"Fizikalne značajke tla (volumna gustoća, gustoća čvrste faze tla, stabilnost strukturnih agregata) će se poboljšati na površinama pod ugarom i na površinama gdje se primjenjuje zelena gnojidba u odnosu na površine bez ugara i zelene gnojidbe“.

Volumna gustoća tla i gustoća čvrste faze tla pokazale su niže vrijednosti kod tretmana s ugarom i zelenom gnojidbom u odnosu na tretmane bez zelene gnojidbe. Poboljšanje se dogodilo već u prvoj godini, a održalo se kroz trogodišnja istraživanja.

Stabilniji pH, povećan sadržaj organske tvari, te ukupnog ugljika posredno upućuju na povoljnije fizikalne značajke tla osobito na povećanu stabilnost strukturnih agregata tla. Ovo osobito vrijedi na tipu tla gdje su provedena istraživanja koji je označen kao pseudoglej obronačni kojeg karakterizira izrazita nestabilnost strukturnih agregata tla zbog povećanog sadržaja ilovastih čestica tla u njegovom teksturnom sastavu.

Tretmani sa zelenom gnojidbom imali su manju varijabilnost gustoće tla sezonski što govori u prilog smanjenju negativnih efekata zbijanja tla.

Hipoteza 2 je potvrđena, dostupni, dobiveni rezultati za volumnu gustoću tla, gustoću čvrstih čestica tla te povećan sadržaj organske tvari i ukupnog ugljika potvrđuju pozitivan utjecaj ugara i zelene gnojidbe.

Hipoteza 3:

"Doći će do pozitivnih promjena kod kemijskih značajki tla (veći sadržaj organske tvari i dušika te povoljniji C/N odnos)."
Tretmani sa zelenom gnojidbom su kroz tri godine pokazali veći sadržaj organske tvari, povećan ukupni ugljik (C), viši ukupni dušik (TN), optimalniji C/N odnos osobito kod tretmana „usjev+siderat“. Rezultati su najizraženiji u trećoj godini istraživanja što upućuje na kumulativni efekt organske tvari. Kod tretmana bez zelene gnojidbe (osobito tretman „usjev“) kemijska svojstva su ostala na nižim razinama, a C/N odnos bio je nepovoljniji.

Hipoteza 3 je u potpunosti potvrđena. Ugar i zelena gnojidba su značajno doprinijeli boljem kemijskom statusu tla.

7.2. EVALUACIJA OSTVARENJA CILJEVA ISTRAŽIVANJA

Cilj 1:

"Utvrditi kako se fizikalne i kemijske značajke tla mijenjaju po godinama i prema tretmanima istraživanja."

Istraživanje je vrlo jasno pokazalo međugodišnje promjene u gotovo svim parametrima tla (Stv, Stp, pH, TC, TN, C/N, P_2O_5, K_2O). Istraživani tretmani su jasno utjecali na dinamiku promjena: tretmani s Ugarom i zelenom gnojidbom pokazali su pozitivne promjene, dok su tretmani bez zelene gnojidbe stagnirali ili imali slabije rezultate.

Cilj 1 je u potpunosti ostvaren.

Cilj 2:

"Dobiti konkretne pokazatelje za ugar i zelenu gnojidbu u pogledu poboljšanja fizikalnih i kemijskih značajki tla kao i ostvarenog prinosa uzgajanih jarih kultura."
Svi glavni pokazatelji fizikalno-kemijskih svojstava tla su praćeni i analizirani. Ugar i zelena gnojidba su dali konkretne rezultate u poboljšanju parametara (npr. niža zbijenost, veći sadržaj organske tvari, ukupni ugljik i dušik, C/N odnos). Međutim, prinosi nisu značajno varirali između tretmana, unatoč boljem stanju tla na tretmanima gdje je bila primijenjena zelena gnojidba. To ukazuje da prinos ovisi i o drugim faktorima (npr. meteorološka ili agronomska suša, raspoloživa vlaga, dostupnost biljci pristupačnog fosfora i kalija u kritičnim stadijima rasta uzgajanih usjeva).

Cilj 2 je djelomično ostvaren. Dobiveni su jasni pokazatelji za stanje tla, ali prinosi nisu pratili trend poboljšanja tla što otvara prostor za dodatna istraživanja o vezama između stanja tla i ostvarenog prinosa.

Istraživanje je uspješno pokazalo da ugar i zelena gnojidba doprinose očuvanju i poboljšanju kvalitete tla – promatranih parametara u ovim istraživanjima. Hipoteze su potvrđene, a ciljevi su ispunjeni u smislu analize dinamike tla. Međutim, izostanak porasta prinosa unatoč poboljšanim parametrima tla ukazuje na složenije uzročno-posljedične veze u agroekosustavu.

Potrebno je dodatno istražiti utjecaj dostupnosti hranjiva u vegetacijskoj sezoni, ostalih fizikalnih parametara tla, vodnog režima i mikrobioloških procesa kako bi se bolja svojstva tla u budućnosti mogla učinkovito pretvoriti u veći agronomski učinak definiran kroz poboljšanje kvalitete/zdravlja tla, te ostvareni prinos uzgajanih usjeva.

8. POPIS LITERATURE

1. Altieri, M. A., Nicholls, C. I. (2017). The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate. Climatic change, 140(1), 33-45., https://doi.org/10.1007/s10584-013-0909-y
2. Alletto, L., Coquet, Y., Justes, E. (2011.). Effects of tillage and fallow period management on soil physical behaviour and maize development. *Agricultural Water Management, 102*(1), 74–85. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.10.008
3. Almeida, C. L. de, Araújo, J. C. de, Costa, M. C. G., Almeida, A. M. M. de, Andrade, E. M. (2017.). Fallow reduces soil losses and increases carbon stock in Caatinga. *Floresta e Ambiente, 24*, e20160175. https://doi.org/10.1590/2179-8087.017516
4. Ashraf, M., Mahmood, T., Azam, F., & Qureshi, R. M. (2004). Comparative effects of applying leguminous and non-leguminous green manures and inorganic N on biomass yield and nitrogen uptake in flooded rice (*Oryza sativa* L.). Biology and fertility of soils, 40(2), 147-152., https://doi.org/10.1007/s00374-004-0756-0
5. Barros, V. D. C., Lira Junior, M. A., Fracetto, F. J. C., Fracetto, G. G. M., Ferreira, J. D. S., Barros, D. J. D., Silva Júnior, A. F. D. (2020). Effects of different legume green manures on tropical soil microbiology after corn harvest. Bragantia, 79, 630-640., https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200262
6. Bašić, F. (1995). Održiva poljoprivreda u Republici Hrvatskoj. Poljoprivredna znanstvena smotra, 60(2), 237–247. https://www.croris.hr/crosbi/publikacija/prilog-casopis/114054
7. Bašić, F. (2014). Regionalizacija hrvatske poljoprivrede u zajedničkoj poljoprivrednoj politici EU. Civitas Crisiensis, 1(1), 143–176. https://hrcak.srce.hr/file/179319
8. Bašić, F., Herceg, N. (2010). Temelji uzgoja bilja. Synopsis, str. 454. Zagreb.
9. Biederbeck, V., & Bouman, O. T. (1994). Water use by annual green manure legumes in dryland cropping systems. Agronomy Journal, 86(3), 543-549., https://doi.org/10.2134/agronj1994.00021962008600030016
10. Biederbeck, V. O., Campbell, C. A., Rasiah, V., Zentner, R. P., Wen, G. (1998). Soil quality attributes as influenced by annual legumes used as green manure. Soil Biology and Biochemistry, 30(8-9), 1177-1185.,

https://doi.org/10.1016/S0038-0717(97)00150-8

11. Biederbeck, V. O., Zentner, R. P., Campbell, C. A. (2005). Soil microbial populations and activities as influenced by legume green fallow in a semiarid climate. Soil Biology and Biochemistry, 37(10), 1775-1784., https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.02.011
12. Blanco-Canqui, H., Shaver, T. M., Lindquist, J. L., Shapiro, C. A., Elmore, R. W., Francis, C. A., Hergert, G. W. (2015). Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils. Agronomy journal, 107(6), 2449-2474. https://doi.org/10.2134/agronj15.0086
13. Boix-Fayos, C., & De Vente, J. (2023). Challenges and potential pathways towards sustainable agriculture within the European Green Deal. Agricultural Systems, 207, 103634., https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103634
14. Breland, T. A. (1995). Green manuring with clover and ryegrass catch crops undersown in spring wheat: effects on soil structure. Soil Use and Management, 11(4), 163-167., https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1995.tb00950.x
15. Brink, C., van Ierland, E., Hordijk, L., Kroeze, C. (2001). Cost-Effective Emission Abatement in Europe Considering Interrelations in Agriculture. The Scientific World Journal, 1(2), 814-821. https://doi.org/10.1100/tsw.2001.295
16. Brozović, B., Jug, I., Đurđević, B., Jug, D. (2023). Cover crops in conservation agriculture. Glasnik Zaštite Bilja, 46/3, 56-65. https://doi.org/10.31727/gzb.46.3.7
17. Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., De Goede, R., ... & Brussaard, L. (2018). Soil quality–A critical review. Soil biology and biochemistry, 120, 105-125, https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030
18. Butorac, A. (1999.). Opća agronomija. str. 649, Školska knjiga, Zagreb.
19. Butorac, A., Bašić, F., Mesić, M., Kisić, I. (2004). Utjecaj gnojidbe na zalihu fosforom i kalijem na prinos zrna kukuruza i kemijska svojstva tla u plodoredu kukuruz-soja-ozima pšenica-šećerna repa. Agronomski glasnik, 6(1), 371-385. https://hrcak.srce.hr/107122
20. Butorac, A., Butorac J., Bašić, F., Mesić, M., Kisić, I. (2005). Utjecaj gnojidbe na zalihu fosforom i kalijem na prinos korijena šećerne repe i neka kemijska svojstva tla u plodoredu kukuruz–soja–ozima pšenica–šećerna repa. *Agronomski glasnik, 67*(1), 5–20., https://hrcak.srce.hr/2212
21. Butorac, A., Butorac, J., Kisić, I. (2006). Utjecaj sustava konzervacijske obrade tla na kemijska svojstva, primjenu dušika, biološka svojstva i biljne bolesti.

Agronomski glasnik: Glasilo Hrvatskog agronomskog društva, 68(5), 417-433. https://hrcak.srce.hr/26554

22. Cerecetto, V., Leoni, C., Jurburg, S. D., Kampouris, I. D., Smalla, K., Babin, D. (2024). Pasture-crop rotations modulate the soil and rhizosphere microbiota and preserve soil structure supporting oat cultivation in the Pampa biome. *Soil Biology and Biochemistry*, *195*, 109451., https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2024.109451
23. Chan, K. Y., Heenan, D. P. (1996). Effect of tillage and stubble management on soil water storage, crop growth and yield in a wheat-lupin rotation in southern NSW. Australian Journal of Agricultural Research, 47(3), 479-488., https://doi.org/10.1071/AR9960479
24. Chauhan, D. S., Sharma, R. K., Kharub, A. S., Tripathi, S. C., & Chhokar, R. S. (2001). Effect of crop intensification on productivity, profitability, energetics and soil fertility in rice (*Oryza sativa*)-wheat (*Triticum aestivum*) cropping system of north-western plains. Indian Journal of Agricultural Science, 71(5), 299-302.
25. Cherr, C. M., Scholberg, J. M. S., McSorley, R. (2006). Green manure approaches to crop production: A synthesis. Agronomy journal, 98(2), 302-319., https://doi.org/10.2134/agronj2005.0035
26. Chimouriya, S., Lamichhane, J., Gauchan, D. P., Dhulikhel, K. (2018). Green manure for restoring and improving the soil nutrients quality. Int. J. Res, 5(20), 1064-1074., http://edupediapublications.org/journals/index.php/IJR/
27. Clark, A. (2010). Managing cover crops profitably. 4th Ed. Sustainable Agriculture Research and Education (SARE), University of Maryland, p. 244., Maryland.
28. Clark, M., & Tilman, D. (2017). Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice. *Environmental Research Letters*, *12*(6), 064016., https://doi.10.1088/1748-9326/aa6cd5
29. Cowie, A. L., Orr, B. J., Sanchez, V. M. C., Chasek, P., Crossman, N. D., Erlewein, A., Welton, S. (2018). Land in balance: The scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality. Environmental science & policy, 79, 25-35. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.10.011
30. Couëdel, A., Alletto, L., Tribouillois, H., & Justes, É. (2018). Cover crop crucifer-legume mixtures provide effective nitrate catch crop and nitrogen green manure

ecosystem services. Agriculture, Ecosystems & Environment, 254, 50-59., https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.017

31. Cuadros-Casanova, I., Cristiano, A., Biancolini, D., Cimatti, M., Sessa, A. A., Mendez Angarita, V. Y., ... & Di Marco, M. (2023). Opportunities and challenges for Common Agricultural Policy reform to support the European Green Deal. Conservation Biology, 37(3), e14052., https://doi.org/10.1111/cobi.14052
32. Curtin, D., Wang, H., Selles, F., Zentner, R. P., Biederbeck, V. O., & Campbell, C. A. (2000). Legume green manure as partial fallow replacement in semiarid Saskatchewan: Effect on carbon fluxes. Canadian Journal of Soil Science, 80(3), 499-505., https://doi.org/10.4141/S99-03
33. Dannehl, T., Leithold, G., & Brock, C. (2017). The effect of C: N ratios on the fate of carbon from straw and green manure in soil. European Journal of Soil Science, 68(6), 988-998., https://doi.org/10.1111/ejss.12497
34. Davis, J. R., Huisman, O. C., Westermann, D. T., Hafez, S. L., Everson, D. O., Sorensen, L. H., & Schneider, A. T. (1996). Effects of green manures on Verticillium wilt of potato. Phytopathology, 86(5), 444-453.
35. De Carvalho, A. M., Ribeiro, F. P., de Jesus, D. R., de Sousa, T. R., Dantas, R. D. A., Gerosa Ramos, M. L., Pulrolnik, K. (2025). Soil carbon dynamics in a long-term corn-soybean rotation system with cover crops in succession. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 60, e04213. https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2025.v60.04213
36. Djaman, K., Koudahe, K., Saibou, A., Essah, S. (2022). Tillage practices in potato (*Solanum tuberosum* L.) production: a review. American J., of Potato Research,99(1),1-12.https://link.springer.com/article/10.1007/s12230-021-09860-1
37. Egli, L., Rüschhoff, J., & Priess, J. (2023). A systematic review of the ecological, social and economic sustainability effects of community-supported agriculture. Frontiers in Sustainable Food Systems, 7, 1136866., https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1136866
38. Essah, S. Y., Delgado, J. A., Dillon, M., Sparks, R. (2012). Cover crops can improve potato tuber yield and quality. HortTechnology, 22(2), 185-190., https://doi.org/10.21273/HORTTECH.22.2.185
39. Euteneuer, P., Wagentristl, H., Neugschwandtner, R. W., Pauer, S., Keimerl, M., Piepho, H. P., Steinkellner, S. (2022). Cover crops affect soybean yield

components, but not grain quality. Agronomy Journal, 114(6), 3193-3205. https://doi.org/10.1002/agj2.21158

40. Fageria, N. K. (2007). Green Manuring in Crop Production. Journal of Plant Nutrition, 30(5), 691–719. https://doi.org/10.1080/01904160701289529
41. Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Bailey, B. A. (2005). Role of cover crops in improving soil and row crop productivity. Communications in soil science and plant analysis, 36(19-20), 2733-2757., https://doi.org/10.1080/00103620500303939
42. Fan, L., Sun, L., Mi, X., Fan, Y., Huang, Y., He, G. (2026). Green manure incorporation as a solution to synergistically improve crop yields and soil organic carbon sequestration. Journal of Cleaner Production, 538, 147408., https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.147408
43. Finney, D. M., White, C. M., Kaye, J. P. (2016). Biomass production and carbon/nitrogen ratio influence ecosystem services from cover crop mixtures. Agronomy journal, 108(1), 39-52. https://doi.org/10.2134/agronj15.0182
44. 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(1-4), 273-284., https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.022
45. Gangwar, K. S., Sharma, S. K., & Tomar, K. (2004). Alley cropping of subabul (*Leucaena leucocephala*) for sustaining higher crop productivity and soil fertility of rice (*Oryza sativa*)-wheat (*Triticum aestivum*) system in semi-arid conditions. Indian Journal of Agronomy, 49(2), 84-88., https://doi.org/10.59797/ija.v49i2.5164
46. Gao, X., He, Y., Chen, Y., Wang, M. (2024). Leguminous green manure amendments improve maize yield by increasing N and P fertilizer use efficiency in yellow soil of the Yunnan-Guizhou Plateau. Frontiers in Sustainable Food Systems, 8, 1369571. https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1369571
47. Gomiero, T., Pimentel, D., & Paoletti, M. G. (2011). Environmental impact of different agricultural management practices: conventional vs. organic agriculture. Critical reviews in plant sciences, 30(1-2), 95-124., https://doi.org/10.1080/07352689.2011.554355
48. Guo, Y., Cheng, M., Zhao, X., Hao, B., Zhang, Y., Cao, W., Zheng, P. (2021). Effects of green manure rotation on soil properties and yield and quality of silage

maize in saline-alkali soils. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 26(6), 856-864., https://doi.10.13930/j.cnki.cjea.170952

49. Hamza, M. A., Anderson, W. K. (2005). Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. Soil and tillage research, 82(2), 121-145., https://doi.org/10.1016/j.still.2004.08.009
50. Haruna, S. I., Anderson, S. H., Nkongolo, N. V., Zaibon, S. (2018). Soil hydraulic properties: Influence of tillage and cover crops. Pedosphere, 28(3), 430-442. https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60387-4
51. Haruna, S. I., Anderson, S. H., Udawatta, R. P., Gantzer, C. J., Phillips, N. C., Cui, S., Gao, Y. (2020). Improving soil physical properties through the use of cover crops: A review. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, *3*(1), e20105. https://doi.org/10.1002/agg2.20105
52. Hazelton P., Murphy B. (2025). Interpreting Soil Test Results: What Do All the Numbers mean? 4th Edition. CSIRO Publishing, p. 183. Melbourne.
53. Hrustek, L. (2020). Sustainability driven by agriculture through digital transformation. Sustainability, 12(20), 8596., https://doi.org/10.3390/su12208596
54. Hunag, Q., Gong, Y., Li, P., Dewi, R. K., Komatsuzaki, M. (2024). The effects of tillage systems and cover crops on soil quality and soybean yield. Agriculture, 14(12), 2119. https://doi.org/10.3390/agriculture14122119
55. IUSS Working Group WRB. 2022. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria.
56. Jeromela, A. M., Mikić, A. M., Vujić, S., Ćupina, B., Krstić, Đ., Dimitrijević, A., ... & Miladinović, D. (2017). Potential of legume–brassica intercrops for forage production and green manure: encouragements from a temperate southeast European environment. *Frontiers in Plant Science*, *8*, 312., https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00312
57. Jug, D., Birkas, M., Kisić, I. (2015). Obrada tla u agroekološkim okvirima, str. 275. Izdavač: Hrvatsko društvo za proučavanje obrade tla, Osijek. https://www.croris.hr/crosbi/publikacija/knjiga/13457
58. Kanatas, P., Travlos, I., Kakabouki, I., Papastylianou, P., & Gazoulis, I. (2020). Yield of organically grown maize hybrids as affected by two green manure crops

in Greece. Chilean journal of agricultural research, 80(3), 334-341., http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392020000300334

59. Kharub, A. S., Chauhan, D. S., Sharma, R. K., Chhokar, R. S., & Tripathi, S. C. (2003). Diversification of rice (*Oryza sativa*) wheat (*Triticum aestivum*) system for improving soil fertility and productivity. Indian Journal of Agronomy, 48(3), 48_3-48_3., https://doi.org/10.59797/ija.v48i3.3065
60. Kharub, A. S., Sharma, R. K., Mongia, A. D., Chhokar, R. S., Tripathi, S. C., & Sharma, V. K. (2004). Effect of rice (*Oryza sativa*) straw removal, burning and incorporation on soil properties and crop productivity under rice-wheat (*Triticum aestivum*) system. Indian journal of agricultural science, 74, 295-299.
61. Kisić, I. (2016). Antropogena erozija tla. Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, str. 275. Zagreb.
62. Kisić, I., Posavec, D. (2025). Uvod u ekološku poljoprivredu. Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, str. 411, Zagreb.
63. Kismányoky, T., Tóth, Z. (1997). Role of crop rotation and organic manure in sustainable land use. Agrokémia és talajtan, 46(1-4), 99-106.
64. Klopp, H. W. (2024). Effects of interseeding cover crops into corn and soybean on biomass production, grain yields and ecosystem services: A review. Agronomy, 14(6), 1229. https://doi.org/10.3390/agronomy14061229
65. Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130
66. Krstić, Đ., Vujić, S., Jaćimović, G., D'Ottavio, P., Radanović, Z., Erić, P., Ćupina, B. (2018). The effect of cover crops on soil water balance in rain-fed conditions. Atmosphere, 9(12), 492. https://doi.org/10.3390/atmos9120492
67. Kuzminykh, A. N., Novoselov, S. I., Pashkova, G. I. (2020). Effect of green manuring on the phytosanitary condition of agrocenosis and the yield of winter rye during the development of fallow land. In IOP Conference: Earth and Environmental Science (Vol. 421, No. 2, p. 022071)., https://doi10.1088/1755-1315/421/2/022071
68. Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. science, 304(5677), 1623-1627. https://doi.10.1126/science.1097396

69. Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. Sustainability, 7(5), 5875-5895. https://doi.org/10.3390/su7055875
70. Larkin, R. P. (2022). Long-term effects of compost amendments and brassica green manures in potato cropping systems on soil and crop health and productivity. Agronomy, 12(11), 2804. https://doi.org/10.3390/agronomy12112804
71. Latta, J., O'Leary, G. J. (2003). Long-term comparison of rotation and fallow tillage systems of wheat in Australia. Field crops research, 83(2), 173-190. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00073-X
72. Lehmann, J., Bossio, D.A., Kögel-Knabner, I., Rillig, M.C. (2020). The concept and future prospects of soil health. *Nat Rev Earth Environ* **1**, 544–553 (2020)., https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8
73. Liang, K., Wang, X., Du, Y., Li, G., Wei, Y., Liu, Y., ... & Wei, X. (2022). Effect of legume green manure on yield increases of three major crops in China: A Meta-Analysis. Agronomy, 12(8), 1753., https://doi.org/10.3390/agronomy12081753
74. Li, P., Jia, L., Chen, Q., Zhang, H., Deng, J., Lu, J., Jiao, J. (2024). Adaptive evaluation for agricultural sustainability of different fertilizer management options for a green manure-maize rotation system: Impacts on crop yield, soil biochemical properties and organic carbon fractions. *Science of the Total Environment*, *908*, 168170., https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168170
75. Li, X., Shi, J., Chen, J., Tian, X. (2024a). Beneficial effects on winter wheat production of the application of legume green manure during the fallow period. Agronomy, 14(1), 203. https://doi.org/10.3390/agronomy14010203
76. Lyu, H., Li, Y., Wang, Y., Wang, P., Shang, Y., Yang, X., Yu, A. (2024). Drive soil nitrogen transformation and improve crop nitrogen absorption and utilization-a review of green manure applications. Frontiers in Plant Science, 14, 1305600., https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1305600
77. Ma, D., Yin, L., Ju, W., Li, X., Liu, X., Deng, X., Wang, S. (2021). Meta-analysis of green manure effects on soil properties and crop yield in northern China. Field Crops Research, 266, 108146., https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108146
78. Maitra, S., Zaman, A., Mandal, T. K., Palai, J. B. (2018). Green manures in agriculture: A review. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 7(5), 1319-1327.

79. Mancinelli, R., Atait, M., Allam, M., Catalani, A., Jasarevic, M., Marinari, S., Chilosi, G. (2025). Combined effects of tillage and fertilization sources on soil characteristics and tuber yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) in a Mediterranean environment. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 25(2), 2858-2871. https://link.springer.com/article/10.1007/s42729-025-02304-3
80. Mandal, U. K., Singh, G., Victor, U. S., & Sharma, K. L. (2003). Green manuring: its effect on soil properties and crop growth under rice–wheat cropping system. European Journal of Agronomy, 19(2), 225-237., https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00037-0
81. Marcillo, G. S., Miguez, F. E. (2017). Corn yield response to winter cover crops: An updated meta-analysis. Journal of Soil and Water Conservation, 72(3), 226-239. https://doi.org/10.2489/jswc.72.3.226
82. McGuire, A. M., Bryant, D. C., & Denison, R. F. (1998). Wheat yields, nitrogen uptake, and soil moisture following winter legume cover crop vs. fallow. Agronomy J., 90(3), 404-410., https://doi.org/10.2134/agronj1998.00021962009000030015x
83. Mesić, H., Bakšić, D., Bašić, F., Čidić, A., Durn, G., Husnjak, S., Kisić, I., Klaić, D., Komesarović, B., Mesić, M., Miko, S., Mileusnić, M., Nakić, Z., Pernar, N., Pilaš, I., Romić, D., Vrbek B., Zgorelec, Ž. (2008): Program trajnog motrenja tala Hrvatske. Agencija za zaštitu okoliša, str. 131. Zagreb., https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/013_tlo/Program_trajnog_motrenja_tala_Hrvatske.pdf
84. Mihalić, V. (1988.). Opća proizvodnja bilja. Školska knjiga, Zagreb.
85. Milne, R. M., Haynes, R. J. (2004). Soil organic matter, microbial properties, and aggregate stability under annual and perennial pastures. Biology and fertility of soils, 39(3), 172-178., https://doi.org/10.1007/s00374-003-0698-y
86. Molnar, I. (1999). Definicija, značaj i elementi plodoreda. U “Plodoredi u ratarstvu”, Urednik: Molnar, I. Institut za ratarstvo i povrtarstvo Novi Sad, 23-39.
87. Mooleki, S. P., Gan, Y., Lemke, R. L., Zentner, R. P., Hamel, C. (2016). Effect of green manure crops, termination method, stubble crops, and fallow on soil water, available N, and exchangeable P. Canadian Journal of Plant Science, 96(5), 867-886., https://doi.org/10.1139/cjps-2015-0336

88. Mosavi, S. B., Jafarzadeh, A. A., Nishabouri, M. R., Ostan, S., Feiziasl, V., & Karimi, E. (2012). The effect of different green manure application in dry land condition on some soil physical properties. Intl. J. Agric. Crop Sci, 4, 1233-1239.
89. Müjdeci, M., Alaboz, P., & Demircioğlu, A. C. (2020). The effects of farmyard manure and green manure applications on some soil physical properties. Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences, 30(1), 9-17.
90. Nair, A. K., & Gupta, P. C. (1999). Effect of green-manuring and nitrogen levels on nutrient uptake by rice (*Oryza sativa*) and wheat (*Triticum aestivum*) under rice-wheat sequence. Indian Journal of Agronomy, vol. 44, No. 4, 659-663.
91. Nixon, D. J., & Simmonds, L. P. (2004). The impact of fallowing and green manuring on soil conditions and the growth of sugarcane. Experimental Agriculture, 40(1), 127-138., https://doi.org/10.1017/S0014479703001467
92. Ochiai, N., Powelson, M. L., Dick, R. P., & Crowe, F. J. (2007). Effects of green manure type and amendment rate on Verticillium wilt severity and yield of Russet Burbank potato. Plant Disease, 91(4), 400-406., https://doi.org/10.1094/PDIS-91-4-0400
93. O'Dea, J. K., Miller, P. R., Jones, C. A. (2013). Greening summer fallow with legume green manures: On-farm assessment in north-central Montana. J. of Soil and Water Conservation, 68(4), 270-282., https://doi.org/10.2489/jswc.68.4.270
94. Odhiambo, J. J., Bomke, A. A. (2001). Grass and legume cover crop effects on dry matter and nitrogen accumulation. Agronomy Journal, 93(2), 299-307. https://doi.org/10.2134/agronj2001.932299x
95. Olson, K., Ebelhar, S. A., Lang, J. M. (2014). Long-term effects of cover crops on crop yields, soil organic carbon stocks and sequestration. Open Journal of Soil Science, 4(8), 284-292. https://doi.10.4236/ojss.2014.48030
96. Palchikov, Y. V., Bobrovich, L. V., Volkov, S. A., Butenko, A. I. (2018). The role of green manure in improving soil fertility. International Journal of Mechanical Engineering and Technology, 9(12), 1347-1353.
97. Park, S., Lee, J. G. (2025). Green manure improves humification and aggregate stability in paddy soils. Soil Biology and Biochemistry, 206, 109796., https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2025.109796
98. Patra, A., Singh, R. P., Kundu, M. S., Kumar, G., Malkani, P., Singh, B. K., Mukherjee, S. (2023). Green manuring: A sustainable approach for soil health improvement. Agriculture & Food E-Newsletter, 5(04), 198-201.

99. Pavinato, P. S., Rodrigues, M., Soltangheisi, A., Sartor, L. R., Withers, P. J. A. (2017). Effects of cover crops and phosphorus sources on maize yield, phosphorus uptake, and phosphorus use efficiency. Agronomy Journal, 109(3), 1039-1047. https://doi.org/10.2134/agronj2016.06.0323
100. Prajapati, S. K., Dayal, P., Kumar, V., Gairola, A. (2023). Green manuring: A sustainable path to improve soil health and fertility. Int. J, 1, 24-33., https://doi.org.10.5281/zenodo.10049824
101. Prikhodko, A. V., Cherkashyna, A. V., Zubochenko, A. A., Svyatyuk, Y. V., Gongalo, A. A., Pikhtereva, A. V., Moreva, T. B. (2021). Influence of composition species of green manure crops on soil fertility. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 937, No. 3, p. 032022), https://doi.10.1088/1755-1315/937/3/032022
102. Qi, H., Li, B., Fan, J., Zhao, W., Ma, Y., Suo, Y., Wang, Y. (2024). Hybrid soybean as green manure for improving soil properties and subsequent crop growth. Agronomy, 14(12), 2936. https://doi.org/10.3390/agronomy14122936
103. Rani, T. S., Umareddy, R., Ramulu, C., Kumar, T. S. (2021). Green Manurs and Grean leaf manures for soil fertility improvement: A review. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 10(5), 190-196.,
104. Ren, H., Lv, H., Xu, Q., Yao, Z., Yao, P., Zhao, N., ... & Zhang, D. (2024). Green manure provides growth benefits for soil mesofauna by promoting soil fertility in agroecosystems. Soil and Tillage Research, *238*, 106006., https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106006
105. Rittl, T. F., Grønmyr, F., Bakken, I., Løes, A. K. (2023). Effects of organic amendments and cover crops on soil characteristics and potato yields. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil & Plant Science, 73(1), 13-26., https://doi.org/10.1080/09064710.2023.2165963
106. Sajjad, M. R., Rafique, R., Bibi, R., Umair, A., Afzal, A., Ali, A., Rafique, T. (2019). Performance of green manuring for soil health and crop yield improvement. Pure and Applied Biology (PAB), 8(2), 1543-1553., http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2019.80095
107. Salahin, N., Alam, M. K., Islam, M. M., Naher, L., & Majid, N. M. (2013). Effects of green manure crops and tillage practice on maize and rice yields and soil properties. Australian Journal of Crop Science, 7(12), 1901-1911., https://search.informit.org/doi/abs/10.3316/INFORMIT.669075287954321

108. Saxena, A. S., & Yadav, D. S. (1998). Effect of summer greengram (*Phaseolus radiatus*) on rice (*Oryza sativa*)-wheat (*Triticum aestivum*) system. Indian Journal of Agricultural Sciences, 1998, Vol. 68, No. 9, 583-586.
109. Singh, R. P., Singh, P. K., & Singh, A. K. (2009). Effect of green manuring on physico-chemical properties of soil and productivity of rice. Oryza, 46(2), 120-123.
110. Singh, V. K., & Sharma, B. B. (2002). Economic evaluation of rice (*Oryza sativa*)-based cropping sequences in the foothills of Himalayas. Indian Journal of Agronomy, 47(1), 12-19.
111. Su, G., Zhao, R., Wang, Y., Yang, Y. A., Wu, X., Wang, J., Ge, J. (2022). Green manure return strategies to improve soil properties and spring maize productivity under nitrogen reduction in the North China plain. *Agronomy*, *12*(11), 2734., https://doi.org/10.3390/agronomy12112734
112. Sumiahadi, A., Acar, R., Özel, A. (2020, October). Green manure for soil properties improvement. In 2nd International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology (EurasianSciEnTech 2020), p. 1267-1274.
113. Sultani, M. I., Gill, M. A., Anwar, M. M., & Athar, M. (2007). Evaluation of soil physical properties as influenced by various green manuring legumes and phosphorus fertilization under rain fed conditions. International J. of environmental Science & Technology, 4(1), 109-118. https://doi.org/10.1007/BF03325968
114. Špoljar, A. (2008): Utjecaj zelene gnojidbe na fizikalno-kemijske značajke tla. Disertacija, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 148. Zagreb.
115. Špoljar, A., Stojnović, M., Kamenjak, D., Dadaček N., Andreata Koren M. (2001): Influence of Vetch and Oat Growth in Crop Rotation on Soil Properties. Agriculture Conspectus Scientificus, 66:127-137.
116. Štafa, Z., Stjepanović, M. (2015). Ozime i fakultativne krmne kulture. Hrvatska mljekarska udruga, str. 271, Zagreb.
117. Tataridas, A., Kanatas, P., Chatzigeorgiou, S., Travlos, I. (2022). Sustainable crop and weed management in the era of the EU Green Deal: A survival guide. Agronomy, 12(3), 589., https://doi.org/10.3390/agronomy12030589
118. Tejada, M., Gonzalez, J. L., García-Martínez, A. M., Parrado, J. (2008). Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. Bioresource technology, 99(6), 1758-1767.,

https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.03.052
119. Thönnissen, C., Midmore, D. J., Ladha, J. K., Holmer, R. J., & Schmidhalter, U. (2000). Tomato crop response to short-duration legume green manures in tropical vegetable systems. Agronomy J., 92(2), 245-253., https://doi.org/10.2134/agronj2000.922245x
120. Thiessen Martens, J., & Entz, M. (2011). Integrating green manure and grazing systems: A review. Canadian Journal of Plant Science, 91(5), 811-824., https://doi.org/10.4141/cjps10177
121. Toungos, M. D., & Bulus, Z. W. (2019). Cover crops dual roles: Green manure and maintenance of soil fertility, a review. International Journal of Innovative Agriculture and Biology Research, 7(1), 47-59.
122. Unger, P. W., Jones, O. R. (1998). Long-term tillage and cropping systems affect bulk density and penetration resistance of soil cropped to dryland wheat and grain sorghum. Soil and tillage research, 45(1-2), 39-57. https://doi.org/10.1016/S0167-1987(97)00068-8
123. Varga, I., Šmituc, I., & Panišić, T. (2024). Primjena kalija u gnojidbi krumpira. Glasnik zaštite bilja, 47(6.), 70-78., https://doi.org/10.31727/gzb.47.6.7
124. Vasilj, Đ. (2000). Biometrika i eksperimentiranje u bilinogojstvu. Hrvatsko agronomsko društvo. Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, str. 320., Zagreb.
125. Vaziritabar, Y., Macholdt, J., Frei, M., Honermeier, B. (2025). Proficiency of green fallow compared to bare fallow, grain legume and cereal pre-crops in a long-term crop rotation. European Journal of Agronomy, 170, 127765., https://doi.org/10.1016/j.eja.2025.127765
126. Verma, N. S., Yadav, D., Chouhan, M., Bhagat, C., Kochale, P. (2023). Understanding potential impact of green manuring on crop and soil: a comprehensive review. In Biol. Forum-Int. J, vol. 15, pp. 832-839.
127. Vos, R., Bellù, L. G. (2019). Global trends and challenges to food and agriculture into the 21st century. Sustainable food and agriculture, 11-30., https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812134-4.00002-9
128. Wang, H., Tang, S., Han, S., Li, M., Cheng, W., Bu, R., Wu, J. (2023). Effects of long-term substitution of chemical fertilizer with Chinese milk vetch on soil phosphorus availability and leaching risk in the double rice systems of Eastern China. Field Crops Research, 302, 109047., https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109047

129. Wang, X., Duan, Y., Zhang, J., Ciampitti, I. A., Cui, J., Qiu, S., He, P. (2022). Response of potato yield, soil chemical and microbial properties to different rotation sequences of green manure-potato cropping in North China. Soil and Tillage Research, 217, 105273. https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105273
130. Wang, Y., Yu, A., Shang, Y., Wang, P., Wang, F., Yin, B., Chai, Q. (2025). Research progress on the improvement of farmland soil quality by green manure. Agriculture, 15(7), 768., https://doi.org/10.3390/agriculture15070768
131. Xue, S., Zhu, P., Huang, D., Zhang, D., Gao, Y., & Wang, X. (2026). Responses of climatic resource use efficiency and wheat yield to green manure planting on the Loess Plateau. The Crop Journal., https://doi.org/10.1016/j.cj.2026.03.014
132. Xu, J., Si, L., Zhang, X., Wang, J. (2023). Various green manure-fertilizer combinations affect the soil microbial community and function in immature red soil. Frontiers in Microbiology, 14, 1255056. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1255056
133. Xu, Q., Yao, Z., Chen, Y., Liu, N., Teng, Z., Huang, D., Gao, Y. (2024). Priming and balance of soil organic carbon differ with additive C:N ratios and long-term green manuring. Applied Soil Ecology, 201, 105495., https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2024.105495
134. Yang, Y. H., Zhang, S., Wang, S., Liu, Z. L., Fang, L. F., Zhang, X. L., Shi, X. J. (2020). Yield and nutrient concentration in common green manure crops and assessment of potential for nitrogen replacement in different regions of China. Acta Prataculturae Sinica, https://doi.10.11686/cyxb2019397
135. Yang, L., Luo, Y., Lu, B., Zhou, G., Chang, D., Gao, S., Cao, W. (2023). Long-term maize and pea intercropping improved subsoil carbon storage while reduced greenhouse gas emissions. Agriculture, Ecosystems & Environment, 349, 108444., https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108444
136. Yang, R., Song, S., Chen, S., Du, Z., Kong, J. (2023a). Adaptive evaluation of green manure rotation for a low fertility farmland system: Impacts on crop yield, soil nutrients, and soil microbial community. *Catena*, *222*, 106873., https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106873
137. Yao, Y., Zhu, R., Li, X., Hu, G., Dong, Y., Liu, Z. (2025). Long-term adoption of plow tillage and green manure improves soil physicochemical properties and optimizes microbial communities under a continuous peanut monoculture system. Frontiers in microbiology, 15, 1513528.

https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1513528

138. Yu, R., Zhang, H., Chang, F., Song, J., Wang, J., Wang, X., Li, Y. (2024). Mixed sowing of Feed rape and Vicia villosa can substitute nitrogen fertilizer to improve soil multifunctionality in the Hetao irrigation District. *Catena*, *235*, 107617., https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107617
139. Yu, R., Zhou, J., Chang, F., Song, J., Wang, J., Li, Y. (2026). Green manure co-application boosts arid agroecosystem sustainability: Mixed sowing of feed rape and hairy vetch modulates N input and enzymes for optimized wheat production. Field Crops Research, 341, 110389., https://doi.org/10.1016/j.fcr.2026.110389
140. Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec Tadić, M., Vučetić, M., Milković, J., Bajić, A., Cindrić, K., Cvitan, L., Katušin, Z., Kaučić, D., Likso, T., Lončar, E., Lonča, Ž., Mihajlović, D., Pandžić, K., Patarčić, M., Srnec, L., Vučetić, V. (2008.). Klimatski atlas Hrvatske 1961–1990, 1971–2000. Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb. https://klima.hr/razno/publikacije/klimatski_atlas_hrvatske.pdf
141. Zhang, Q., Yin, B., Zhang, S., Li, Y., Zang, Y., Rong, X., Zhang, Y. (2024). Moss crusts mitigate the negative impacts of shrub mortality on the nutrient multifunctionality of desert soils. Soil Science Society of America Journal, 88(1), 166-179. https://doi.org/10.1002/saj2.20606
142. Zhang, J., He, W., Wei, Z., Chen, Y., Gao, W. (2025). Integrating green manure and fertilizer reduction strategies to enhance soil carbon sequestration and crop yield: evidence from a two-season pot experiment. Frontiers in Sustainable Food Systems, 8, 1514409. https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1514409
143. Zhao, N., Zhang, J., Li, X., Ma, J., Cao, J., Liu, H., Wang, Z. (2023). Limited advantages of green manure planting on soil nutrients and productivity in intensive agriculture: A case study of wheat–maize–sunflower rotation in Hetao Irrigation District. Agronomy, 14(1), 100., https://doi.org/10.3390/agronomy14010100
144. Zhao, N., Wang, X., Ma, J., Li, X., Cao, J., Zhou, J., Cao, W. (2024). Co-incorporating green manure and crop straw increases crop productivity and improves soil quality with low greenhouse-gas emissions in a crop rotation. The Crop Journal, 12(4), 1233-1241., https://doi.org/10.1016/j.cj.2024.07.002

9. ŽIVOTOPIS

Dalibor Jurina, dipl. ing. agr., rođen 13. siječnja 1975. u Bjelovaru. Osnovno obrazovanje stekao u Velikim Zdencima i Grubišnom Polju, a srednju školu matematičko-informatičkog usmjerenja završio 1993. godine u Grubišnom Polju. Iste godine upisuje Višu poljoprivrednu školu ratarskog smjera pri Poljoprivrednom institutu u Križevcima koju završava 1995. godine. Studij nastavlja na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu gdje 1997. godine stječe akademski naziv diplomiranog inženjera agronomije, smjer ratarstvo.

Po završetku studija pristupa Hrvatskoj vojsci gdje završava temeljnu časničku izobrazbu i biva promaknut u čin poručnika topništva. Po povratku iz vojske zapošljava se u Bjelovarsko-bilogorskoj županiji gdje napreduje od vježbenika do samostalnog upravnog referenta za poljoprivredu i šumarstvo. Godine 2002. postaje voditelj ispostave Ureda državne uprave u Garešnici, a od 2006. do 2013. obnaša dužnost pročelnika Ureda župana Bjelovarsko-bilogorske županije. Od 2013. do 2017. godine zamjenik je gradonačelnika Grada Grubišno Polje, a potom se vraća u županijsku upravu kao pročelnik za gospodarstvo, gdje ostaje do 2021. godine.

Godine 2022. prelazi u privatni sektor i zapošljava se kao tehnolog ratarstva u tvrtki Agro-vet d.o.o. iz Križevaca, a potom prelazi u obrazovni sektor. Radi kao učitelj prirode i biologije u osnovnim školama (Nova Rača, Čazma, Grubišno Polje, Ludina, Velika Trnovitica), te kao nastavnik stručnih predmeta u Ekonomskoj i turističkoj školi Daruvar i predavač pri Pučkom otvorenom učilištu „Marinković“ za odrasle u Garešnici.

Psihološko-pedagoško-didaktičko-metodičku izobrazbu (PPDMI) završava 2021. godine na Filozofskom fakultetu u Osijeku, a 2024. polaže stručni ispit za učitelja prirode i biologije. Od 2022. godine vanjski je suradnik – asistent na Veleučilištu u Virovitici. Trenutno je zaposlen na neodređeno vrijeme kao učitelj prirode i biologije u OŠ Ludina, te u OŠ Trnovitički Popovac.

Uz rad u školstvu, aktivno je uključen u poljoprivrednu proizvodnju kroz vlastiti OPG u Velikim Zdencima, specijaliziran za ratarsku i povrtlarsku proizvodnju. Autor je i koautor više znanstvenih radova (vidljivo na CROSBI profilu), a od 2021. godine je polaznik doktorskog studija Poljoprivredne znanosti. Oženjen suprugom Anamarijom, otac troje djece – sina Filipa (20) te kćeri Ane (19) i Ive (17).