Sveučilište u Zagrebu

AGRONOMSKI FAKULTET

Luka Brezinščak

UTJECAJ OBRADE TLA I PRIMJENE MALČA NA FIZIKALNA SVOJSTVA FLUVISOLA I PRINOSE RATARSKIH KULTURA

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2024.

University of Zagreb

FACULTY OF AGRICULTURE

Luka Brezinščak

IMPACT OF TILLAGE AND STRAW MANAGEMENT ON SOIL PHYSICAL PROPERTIES OF FLUVISOL AND CROP YIELD

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2024.

Sveučilište u Zagrebu

AGRONOMSKI FAKULTET

Luka Brezinščak

UTJECAJ OBRADE TLA I PRIMJENE MALČA NA FIZIKALNA SVOJSTVA FLUVISOLA I PRINOSE RATARSKIH KULTURA

DOKTORSKI RAD

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Igor Bogunović

Zagreb, 2024.

University of Zagreb

FACULTY OF AGRICULTURE

Luka Brezinščak

IMPACT OF TILLAGE AND STRAW MANAGEMENT ON SOIL PHYSICAL PROPERTIES OF FLUVISOL AND CROP YIELD

DOCTORAL THESIS

Supervisor:

Assoc. Prof. Igor Bogunović, PhD

Zagreb, 2024.

Bibliografski podaci:

- Znanstveno područje: Biotehničko područje
- Znanstveno polje: Poljoprivreda
- Znanstvena grana: Ekologija i zaštita okoliša
- Institucija: Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet
- Voditelj doktorskog rada: Izv. prof. dr. sc. Igor Bogunović
- Broj stranica: 159
- Broj slika: 12
- Broj grafikona: 66
- Broj tablica: 14
- Broj priloga: 0
- Broj literaturnih referenci: 303
- Datum obrane doktorskog rada:
- Sastav povjerenstva za obranu doktorskog rada:
    1. Prof. dr. sc. Ivica Kisić
    2. Izv. prof. dr. sc. Vilim Filipović
    3. Izv. prof. dr. sc. Boris Đurđević

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 5. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Agronomskog Fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, održanoj dana 8. veljače 2022., te odobrena na 12. redovitoj sjednici Senata Sveučilišta u Zagrebu, održanoj dana 12. travnja 2022. u 353. akademskoj godini (2021./2022.).

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

AGRONOMSKI FAKULTET

IZJAVA O IZVORNOSTI

Ja, **Luka Brezinščak**, izjavljujem da sam samostalno izradio doktorski rad pod naslovom:

UTJECAJ OBRADE TLA I PRIMJENE MALČA NA FIZIKALNA SVOJSTVA FLUVISOLA I PRINOSE RATARSKIH KULTURA

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. Prof. dr. sc. Ivica Kisić, _____
Redoviti profesor Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta

2. Izv. prof. dr. sc. Vilim Filipović, _____
Izvanredni profesor Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta

3. Izv. prof. dr. sc. Boris Đurđević, _____
Izvanredni profesor Sveučilišta J. J. Strossmayer u Osijeku Fakultet agrobiotehničkih znanosti u Osijeku

Informacije o mentoru (jedna stranica)

Dr. Igor Bogunović je izvanredni profesor na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Uključen je u istraživanja o praksama gospodarenja tlom, strategijama degradacije i remedijacije tla, zbijenosti tla, obradi tla, očuvanju tla i vode, sekvestraciji ugljika, fizici tla i gnojidbi. Suradnik je na slijedećim međunarodnim projektima: a) međunarodni - InBestSoil, Horizon2020, Ugovor ID: 101091099; SHARInG-MeD; PRIMA MED, Ugovor ID: 2211; Firelinks - CA18135 COST; SUSTAIN CA22144 - COST; CONNECTEUR ES1306 – COST. Na sva tri COST međunarodna projekta sudjeluje kao predstavnik Hrvatske i članskog odbora. Voditelj je više nacionalnih znanstvenih projekata - Formiranje klimatski pametnih tala: Ublažavanje erozije tla i degradacijskih procesa u hrvatskim poljoprivrednim sustavima, voditelj projekta; Naručitelj: Hrvatska zaklada za znanost, 2024.-2027. i projekta Erozija i degradacija tla Hrvatske, voditelj projekta; Naručitelj: Hrvatska zaklada za znanost, 2018.-2023; ali i drugih tehnološko-znanstvenih projekta: Effect of soil management on soil carbon-dioxide emission at different Croatian and Hungarian agricultural sites (trajanje 2019-2021 naručitelj: Ministarstvo znanosti i obrazovanja); Možemo li spasiti opožarena zemljišta? (trajanje 2018 – 2020, naručitelj: Zaklada Adris); Održive mjere gospodarenja tlom u ekološkoj poljoprivredi za klimatske uvjete mediteranske Hrvatske (trajanje: 2016-2018, naručitelj VIP projekt, Ministarstvo poljoprivrede ribarstva i ruralnog razvoja); Popravak alkalno-slanih tala u dolini Raše (trajanje: 2016-2019, naručitelj Holcim Hrvatska d.o.o). Suradnik je na nacionalnom znanstvenom projektu Utjecaj šumskih požara na kvalitetu tla i vode, suradnik; naručitelj: Hrvatska zaklada za znanost, 2019.-2023. Do danas je kao autor ili koautor objavio više od 250 radova, ekspertiza i stručnih izvješća. Trenutna citiranost u Web of Science Core Collection je 1335 (h-indeks=17), Google scholar 2466 (h-indeks=23). Bio je na znanstvenim boravcima i usavršavanju u BOKU Beč, Austrija; Sveučilište u Valenciji, Valencia, Španjolska; i Sveučilište Durham, Durham, Engleska gdje je stekao znanja o gospodarenju zemljištem, procesima degradacije i poljoprivredom u modificiranim klimatskim uvjetima. Član je Hrvatskog tloznanstvenog društva; Hrvatskog društva za proučavanje obrade tla; Međunarodnog društva za proučavanje obrade tla; Europsko društvo za konzervaciju tla; i Europske geoznanstvene unije. Urednik je i glavni autor sveučilišnog priručnika „Održive mjere gospodarenja tlom u ekološkoj poljoprivredi za klimatske uvjete mediteranske Hrvatske“ i 2 knjige izdavača Springer: "Impact of Agriculture on Soil Degradation I - Perspectives from Africa, Asia, America and Oceania" i "Impact of Agriculture on Soil Degradation II - A European Perspective". Autor je 10 poglavlja u knjigama. Trenutačno je mentor četvero doktoranada na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, dok je 1 doktorirao pod njegovim mentorstvom. Član je uredništva u više međunarodnih časopisa: Geography and Sustainability – Elsevier (Q1, CATEGORY GEOGRAPHY, PHYSICAL, 3/63, IF 9.7); Agriculture – MDPI (Q1, CATEGORY AGRONOMY, 17/88, IF 3.6), Columella - Journal of Agricultural and Environmental Sciences (A2). Bio je član organizacijskog odbora na nekoliko skupova. Dobitnik je Državne nagrade za znanost - Godišnje nagrade za znanstvene novake 2017. i Nagrade Mihovil Gračanin Hrvatskog tloznanstvenog društva 2018. Agronomski fakultet dodijelio mu je 2020. Odličje zaposlenicima za izniman doprinos znanstvenoistraživačkom, nastavnom i stručnoj aktivnosti, a u 2019. godini Priznanje zaposlenicima za uzoran rad i posebno vrijedan doprinos do 35. godine.

Zahvala

x.

Posveta

X

SAŽETAK

Poznato je da neke prakse obrade tla negativno djeluju na sadržaj organske tvari, strukturu tla i zbijenost. Konzervacijski sustavi obrade tla predstavljaju pozitivnu alternativu za očuvanje strukture, konzervaciju tla i vode. Nastoji se pronaći optimalna agrotehnička praksa kojom će se ublažiti negativni utjecaj klimatskih promjena na poljoprivrednu proizvodnju i degradaciju tla. Cilj istraživanja je u agroekološkom području testirati utjecaj sustava obrade tla na određena svojstva fluvisola (volumnu gustoću tla, mehanički otpor tla, trenutačnu vlažnost tla, kapacitet tla za vodu, stabilnost strukturnih agregata, sadržaj organske tvari) i prinos kultura u trogodišnjem razdoblju. Pokusno polje postavljeno je na Pokušalištu Šašinovec (Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet) u split-plot raspored s tri ponavljanja za svaki sustav obrade (CT - oranje lemešnim plugom (18 – 20 cm) u jesen (A) + tanjuranje u proljeće; MT - obrada tla kombiniranim oruđem (kultivator+tanjurača+valjak) (10 – 15 cm) u proljeće; RT - podrivanje (35 – 40 cm) u jesen (A) i primjena kombiniranog oruđa (10 – 15 cm) u proljeće) u razdoblju od 2019. do 2021. Svaki blok (100 m x 10 m) predstavlja različiti sustav obrade, te je razdvojen na dio sa malčem (slamom) ili bez malča koji čini podfaktor (50 m x 10 m) pokusa. Uzorkovanje je provedeno na Pokušalištu Šašinovec u proljeće poslije sjetve i u jesen poslije žetve svake istraživane godine. Ukupno je kroz trogodišnji period uzeto 648 uzoraka tla koji su analizirani u ovlaštenom laboratoriju, te 216 terenskih mjerenja uzorkovano penetrometrom. Prema dobivenim rezultatima, korištenje malča i reducirane obrade (MT i RT) smanjuje volumnu gustoću tla, pri čemu je pod RT varirao ovisno o vremenu uzorkovanja, dok je pod MT nakon primjene u drugoj godini istraživanja pozitivan efekt zabilježen kontinurano do kraja istraživanja. Utvrđeni su mehanički otpori ispod ograničavajućih vrijednosti za razvoj korijena prilikom svih mjerenja, te je kontinuirana primjena vertikalne obrade s malčem ključna za smanjenje zbijenosti tla. Plitka obrada (MT) sa malčem povećala je kapacitet zadržavanja vode u tlu i trenutačnu vlažnost tla tijekom višegodišnjeg istraživanja. Prethodno navedena obrada nakon tri godine ostvarila je povećanje stabilnosti strukturnih agregata. Sadržaj organske tvari se povećavao najviše nakon tri godine primjene MT. Prinosi su varirali tijekom tri godine istraživanja. Soja nije pokazala značajne razlike, dok je kukuruz imao najbolje rezultate s dubokom podrivanjem tla u drugoj godini. Treća godina je pokazala da je jara pšenica s primjenom slame imala značajno veće prinose. Kombinacija analize fizikalnih svojstava tla s praćenjem prinosa ratarskih kultura omogućuje bolje razumijevanje utjecaja obrade tla i primjene malča na održavanje plodnosti tla i poljoprivrednu proizvodnju. Zabilježeni su pozitivni utjecaji plitke obrade sa zadržavanjem malča, nasuprot konvencionalnom okretanju tla gdje niti zadržavanje malča ne pridnosi smanjenju degradacije fizikalnih svojstva. Ujednačeni prinosi na testiranim sustavima ukazuju na prednosti napuštanja tradicionalnih sustava obrade tla i lakši prelazak na konzervacijske sustave. U budućnosti je potrebno nastaviti istraživanje u drugim agroekološkim uvjetima, te ukazivati na nedostatke i degradaciju tla konvenicionalnim sustavom obrade tla.

Ključne riječi: fluvisol, obrada tla, slama, fizikalna svojstva tla, prinos

Impact of tillage and straw management on soil physical properties of fluvisol and crop yield

EXTENDED ABSTRACT

The management of Fluvisols represents a crucial aspect of sustainable agriculture due to their high fertility and susceptibility to soil degradation. Among the numerous factors influencing soil health and crop productivity, impact of tillage practices and straw management stands out as a critical area of study. This integrated approach plays a pivotal role in shaping the physical properties of Fluvisols and significantly affects crop yield. Tillage practices, ranging from conventional to conservation methods, profoundly influence Fluvisol structure and soil-water dynamics. The choice of tillage method determines the degree of soil disturbance, affecting soil aggregation, porosity, and moisture retention. Additionally, it influences the breakdown of organic matter and nutrient availability, ultimately impacting the soil's fertility and capacity to support crop growth. Understanding the intricacies of different tillage techniques and their repercussions on Fluvisol physical properties is essential for sustainable land management. Simultaneously, the management of straw, a crop residue, is gaining recognition for its role in soil health. Incorporating straw into Fluvisols alters soil structure, enhances organic matter content, and influences moisture retention. Strategic straw management practices, such as mulching or incorporation into the soil, present opportunities to mitigate erosion, reduce evaporation, and bolster soil fertility. However, the effectiveness of these strategies is contingent upon various factors including climate, soil type, and crop rotation. This study aims to delve into the integrated impact of tillage practices and straw management on the physical properties of Fluvisols and subsequent crop yield. By scrutinizing the interactions between these practices, it endeavors to provide insights that can guide sustainable soil management strategies tailored to Fluvisol characteristics and regional agricultural needs. Through a holistic understanding of these interactions, this research seeks to contribute to the development of informed agricultural practices that optimize productivity while preserving the long-term health and fertility of Fluvisol.

The research was conducted on the surfaces of the Šašinovec Experimental Farm, University of Zagreb Faculty of Agriculture (45°50' N; 16°11' E; 120 m above sea level), in the area of the City of Zagreb. The location belongs to the Western Pannonian region. The average annual temperature is 10,4 °C, while the average annual precipitation is 852,3 mm. The soil texture is silt clay loam (Fluvisol). The soil is slightly alkaline, with moderate humus content, rich in P_2O_5 and K_2O, and well supplied with total nitrogen content. The experimental field was set up in a split-plot design with three replications for each tillage system. Each block (100 m x 10 m) represents a different tillage system, with mulch (straw) or without mulch as a sub-factor (50 m x 10 m). The tillage systems are as follows: conventional tillage - plowing with a moldboard plow (18 - 20 cm) in autumn and harrowing in spring; minimum tillage - soil tillage with combined implements (cultivator + harrow + roller) (10 - 15 cm) in spring; reduced tillage - subsoiling (35 - 40 cm) in autumn and application of combined tool (10 - 15 cm) in spring. Shredded wheat straw is applied every year after sowing the designated crop at a rate of 2,75 t/ha (140 kg per plot). Planned crops (soybean, maize, wheat) were sown according to the usual crop rotation. Sampling and soil property analysis for the following soil physical properties were monitored: soil water content, bulk density, water holding capacity, penetration resistance, water-stability of structural aggregates. Soil samples for soil analysis were taken immediately after sowing and immediately after harvesting. Samples were taken from two depths (0 - 10 cm; 10 - 20 cm) in three replications for each depth, totaling 108 samples per measurement. Soil water content, bulk density, and water holding capacity were determined by gravimetric drying at 105 °C over a period of 72 hours from an undisturbed soil sample with a volume of 100 cm^3. The dynamics of compaction status will be monitored by handheld penetrometer (Eijkelkamp Penetrologger). The measurement procedure included 4 replications per plot, totaling 72 measurements per sampling. Samples for determining the water-stable aggregates percentage were air-dried after careful preparation by hand, and then

vibrationally sieved for 30 seconds. Each fraction of aggregates was weighed to determine their proportion in the soil using Kemper and Rosenau (1986) method. For climate interpretation of the 30-year period meteorological data from the Zagreb-Maksimir station was used and compared with dana from meteorological station at the Šašinovec Experimental Farm. Yields were determined by weighing each harvested plot. The organic matter content will be determined on each plot (a total of 18 samples per measurement). Statistical data analysis, (two-factorial) experiment will be set up in a split-plot design, with tillage as the main factor and mulching as the sub-factor. The impact of tillage, mulch, and their interactions on yield and soil physical properties was tested for each year of the study. Data on soil physical properties throughout the years of the study was statistically analyzed using analysis of variance (ANOVA) adapted for split-plot design, utilizing the statistical program SAS 14.3.

According to the results, the combination of mulch and RT reduced the bulk density of the soil in the first year of the trial, while the MT and CT treatments had no positive effect. Penetration resistance measurements were below the root development thresholds throughout the experiment and there were no positive effects of the reduction in penetration resistance by the interaction of mulch and RT on the tested treatments in the first year. MT and RT with mulch increased the water holding capacity of the soil in contrast to the bare treatments, and the same positive effect was found for soil water content in the previously mentioned treatments. The values of water-stable aggregates were not affected in the CT and MT treatments with mulch, while a relative increase in stability was observed in the RT treatment with mulch compared to the treatments without and with mulch. The organic matter content was not positively influenced by the MT and RT treatments with mulch, while the CT treatment with mulch had a positive effect in contrast to the treatment with mulch. The yield of soybeans reached relatively higher values in MT and RT treatments with mulch than in untreated treatments. In the following experimental year, the bulk density was significantly lower only in the RT treatment with mulch than in the MT and CT treatments with mulch. A similar effect was observed when measuring the penetration resistance. The water holding capacity of the soil was significantly higher in the MT and RT treatment with straw than in the CT treatment with straw. There were also significant differences in soil water content values, with MT and RT treatments with mulch having higher values than CT treatments with mulch, furthermore, all mulch treatments had higher values than the treatments without mulch. Interestingly, the values for the water-stable aggregates were higher in the bare MT and RT treatments than in the mulch treatment. The same effect was observed in the values for organic matter content and yield of maize. In the third year of the trial, the bulk density was lower in the MT and RT treatment with mulch than in the CT treatment with mulch. Significantly lower penetration resistance was observed in all treatments with mulch compared to bare stems. In terms of water holding capacity, MT and RT treatments with mulch had significantly higher values than bare plots. For soil water content, MT and RT tree with mulch showed significantly higher values than CT tree with mulch. The value of water-stable aggregates was significantly higher in the MT treatment with mulch than in the other mulch treatments. The organic matter content was also significantly higher in the MT treatment with mulch than in the other mulch treatments. Finally, the yield of spring wheat was significantly higher in the MT and RT treatments with mulch than in the CT treatment with mulch. In summary, it can be said that the continuous application of non-inverting tillage with mulch contributes significantly to the reduction of soil degradation. From the collected results, it can be concluded that the use of conventional ploughing is no longer necessary, as soil degradation is greater and yields are not higher than with other vertical tillage systems. The continuous use of straw mulch also contributes significantly to improving the physical properties of the soil and maintaining the sustainability of land use. Furthermore, tillage systems that combine vertical and shallow tillage with mulch can mitigate the losses caused by ever-changing climatic conditions while providing farmers with economic and environmental stability.

Keywords: Fluvisol, tillage, straw management, soil physical properties, yield

SADRŽAJ

1. UVOD 1

1.1. Hipoteze i ciljevi istraživanja 4

2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA 5

2.1. Utjecaj obrade i malča na degradaciju tla 5

2.2. Utjecaj konvencionalne i konzervacijske obrade tla na fizikalna svojstva tla . 6

2.3. Utjecaj konvencionalne i konzervacijske obrade tla na prinos ratarskih kultura 15

2.3.1. Hrvatska 15

2.3.2. Azija 16

2.3.3. Sjeverna i Južna Amerika 17

2.3.4. Afrika 18

2.3.5. Australija 19

2.3.6. Europa 19

2.4. Utjecaj primjene malča na fizikalna svojstva tla 22

2.5. Utjecaj primjene mrtvog malča na prinos 25

3. MATERIJALI I METODE 27

3.1. Lokacija istraživanja i značajke pokusnog polja 27

3.2. Eksperimentalni dizajn 29

3.3. Korištenje malča 32

3.4. Način uzorkovanja i laboratorijske analize svojstava tla 33

3.5. Agrotehnika i plodored test kultura 36

3.6. Analize meteoroloških prilika 39

3.7. Statistička obrada podataka 40

4. REZULTATI 41

4.1. Klimatske značajke 41
4.1.1. Meteorološke prilike u 2019. godini 41
4.1.2. Meteorološke prilike u 2020. godini 43
4.1.3. Meteorološke prilike u 2021. godini 45
4.2. Fizikalna svojstva tla u 2019. godini 47
4.2.1. Volumna gustoća tla u 2019. godini 47
4.2.2. Mehanički otpor tla u 2019. godini 51
4.2.3. Retencijski kapacitet tla za vodu u 2019. godini 55
4.2.4. Trenutačna vlažnost tla u 2019. godini 59
4.2.5. Stabilnost strukturnih agregata u 2019. godini 64
4.2.6. Organska tvar u tlu u 2019. godini 65
4.2.7. Prinos soje u 2019. godini 67
4.3. Fizikalna svojstva tla u 2020. godini 69
4.3.1. Volumna gustoća tla u 2020. godini 69
4.3.2. Mehanički otpor tla u 2020. godini 74
4.3.3. Retencijski kapacitet tla za vodu u 2020. godini 79
4.3.4. Trenutačna vlaga u tlu u 2020. godini 84
4.3.5. Stabilnost strukturnih agregata u 2020. godini 89
4.3.6. Organska tvar u tlu u 2020. godini 91
4.3.7. Prinos kukuruza u 2020. godini 93
4.4. Fizikalna svojstva tla u 2021. godini 95
4.4.1. Volumna gustoća tla u 2021. godini 95
4.4.2. Mehanički otpor tla u 2021. godini 100
4.4.3. Retencijski kapacitet tla za vodu u 2021. godini 105
4.4.4. Trenutačna vlaga u tlu u 2021. godini 110

4.4.5. Stabilnost strukturnih agregata u 2021. godini 115
4.4.6. Organska tvar u tlu u 2021. godini 117
4.4.7. Prinos jare pšenice u 2021. godini 119
5. RASPRAVA 122
5.1. Volumna gustoća tla 122
5.2. Mehanički otpor tla 124
5.3. Retencijski kapacitet tla za vodu 126
5.4 Trenutačna vlažnost tla 127
5.5. Stabilnost strukturnih agregata 129
5.6. Organska tvar u tlu 131
5.7. Prinos 132
6. ZAKLJUČCI 135
7. POPIS LITERATURE 137
8. ŽIVOTOPIS 160

POPIS KRATICA:

ρ_v	volumna gustoća
CT	konvencionalna obrada tla
MT	minimalna obrada tla
RT	reducirana obrada tla
CT SL	konvencionalna obrada tla sa malčem od slame
MT SL	minimalna obrada tla sa malčem od slame
RT SL	reducirana obrada tla sa malčem od slame
MOP	mehanički otpor tla mjeren penetrometrom
PET	potencijalna evapotranspiracija
R	rezerva vode u tlu
SET	stvarna evapotranspiracija
M	manjak vode u tlu
V	višak vode u tlu
RKV	retencijski kapacitet tla za vodu
TV	trenutačna vlažnost tla
SSA	stabilnost strukturnih agregata

POPIS TABLICA:

Tablica 1. Podjela prednosti primjene konzervacijskih sustava obrade (preuzeto iz: Jug i sur., 2017) 7
Tablica 2. Pregled utjecaja malča na fizikalna svojstva tla 22
Tablica 3. Utjecaj primjene malča na prinos 25
Tablica 4. Fizikalna i kemijska svojstva istraživanog tla 27
Tablica 5. Opis priključaka korištenih u pokusu 31
Tablica 6. Klasifikacija sadržaja organske tvari u tlu (prilagođeno prema Hazelton i Murphy, 2007) ..... **Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.**
Tablica 7. Langov godišnji kišni faktor 40
Tablica 8. Humidnost klime prema Gračaninu 40
Tablica 9. Klimatski pokazatelji za 2019. u usporedbi sa razdobljem 1961.-1990. 42
Tablica 10. Bilanca vode u tlu prema metodi Thornthwaitea za 2019. 42
Tablica 11. Klimatski pokazatelji za 2020. u usporedbi sa razdobljem 1961.-1990. 44
Tablica 12. Bilanca vode u tlu prema metodi Thornthwaitea za 2020. 44
Tablica 13. Klimatski pokazatelji za 2021. u usporedbi sa razdobljem 1961.-1990. 46
Tablica 14. Bilanca vode u tlu prema metodi Thornthwaitea za 2021. 46

POPIS GRAFIKONA:

Grafikon 1. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na volumnu gustoću tla u 2019. godini 47
Grafikon 2. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na volumnu gustoću u 2019. godini 48
Grafikon 3. Utjecaj obrade tla i pokrova na ρ_v u proljetnom uzorkovanju (2019.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B) 49
Grafikon 4. Utjecaj obrade tla i pokrova na ρ_v u jesenskom uzorkovanju (2019.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B) 50
Grafikon 5. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na mehanički otpor tla u 2019. godini..... 51
Grafikon 6. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na mehanički otpor tla u 2019. godini 52
Grafikon 7. Utjecaj obrade tla i pokrova na MOP u proljetnom uzorkovanju (2019.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B)..... 53
Grafikon 8. Utjecaj obrade tla i pokrova na MOP u jesenskom uzorkovanju (2019.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B)..... 54
Grafikon 9. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na kapacitet tla za vodu u 2019. godini 55
Grafikon 10. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na kapacitet tla za vodu u 2019. godini... 56
Grafikon 11. Utjecaj obrade tla i pokrova na RKV u proljetnom uzorkovanju (2019.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B)..... 57
Grafikon 12. Utjecaj obrade tla i pokrova na RKV u jesenskom uzorkovanju (2019.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B)..... 59
Grafikon 13. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na trenutačnu vlažnost tla u 2019. godini..... 60
Grafikon 14. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na trenutačnu vlažnost tla u 2019. godini 61
Grafikon 15. Utjecaj obrade tla i pokrova na TV u proljetnom uzorkovanju (2019.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B) 62
Grafikon 16. Utjecaj obrade tla i pokrova na TV u jesenskom uzorkovanju (2019.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B) 63
Grafikon 17. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na stabilnost strukturnih agregata u 2019. godini 64
Grafikon 18. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na stabilnost strukturnih agregata u 2019. godini 65
Grafikon 19. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na sadržaj organske tvari u tlu u 2019. godini..... 66

Grafikon 20. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na sadržaj organske tvari u tlu u 2019. godini 67
Grafikon 21. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na prinos soje u 2019. godini 68
Grafikon 22. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na prinos soje u 2019. godini 69
Grafikon 23. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na volumnu gustoću tla u 2020. godini 70
Grafikon 24. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na volumnu gustoću tla u 2020. godini 71
Grafikon 25. Utjecaj obrade tla i pokrova na ρ_v u proljetnom uzorkovanju (2020.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B) 72
Grafikon 26. Utjecaj obrade tla i pokrova na ρ_v u jesenskom uzorkovanju (2020.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B) 74
Grafikon 27. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na mehanički otpor tla u 2020. godini 75
Grafikon 28. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na mehanički otpor tla u 2020. godini 76
Grafikon 29. Utjecaj obrade tla i pokrova na MOP u proljetnom uzorkovanju (2020.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B) 77
Grafikon 30. Utjecaj obrade tla i pokrova na MOP u jesenskom uzorkovanju (2020.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B) 79
Grafikon 31. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na kapacitet tla za vodu u 2020. godini 80
Grafikon 32. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na kapacitet tla za vodu u 2020. godini 81
Grafikon 33. Utjecaj obrade tla i pokrova na RKV u proljetnom uzorkovanju (2020.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B) 82
Grafikon 34. Utjecaj obrade tla i pokrova na RKV u jesenskom uzorkovanju (2020.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B) 84
Grafikon 35. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na trenutačnu vlažnost tla u 2020. godini 85
Grafikon 36. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na trenutačnu vlažnost tla u 2020. godini 86
Grafikon 37. Utjecaj obrade tla i pokrova na TV u proljetnom uzorkovanju (2020.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B) 87
Grafikon 38. Utjecaj obrade tla i pokrova na TV u jesenskom uzorkovanju (2020.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B) 89
Grafikon 39. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na stabilnost strukturnih agregata u 2020. godini 90

Grafikon 40. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na stabilnost strukturnih agregata u 2020. godini 91
Grafikon 41. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na stabilnost strukturnih agregata u 2020. godini 92
Grafikon 42. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na sadržaj organske tvari u tlu u 2020. godini 93
Grafikon 43. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na prinos kukuruza u 2020. godini 94
Grafikon 44. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na prinos kukuruza u 2020. godini 95
Grafikon 45. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na volumnu gustoću tla u 2021. godini 96
Grafikon 46. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na volumnu gustoću različita 2021. godini 97
Grafikon 47. Utjecaj obrade tla i pokrova na ρ_v u proljetnom uzorkovanju (2021.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B) 98
Grafikon 48. Utjecaj obrade tla i pokrova na ρv u jesenskom uzorkovanju (2021.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B) 100
Grafikon 49. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na mehanički otpor tla u 2021. godini 101
Grafikon 50. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na mehanički otpor tla u 2021. godini ... 102
Grafikon 51. Utjecaj obrade tla i pokrova na MOP u proljetnom uzorkovanju (2021.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B) 103
Grafikon 52. Utjecaj obrade tla i pokrova na MOP u jesenskom uzorkovanju (2021.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B) 105
Grafikon 53. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na RKV u 2021. godini 106
Grafikon 54. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na RKV u 2021. godini 107
Grafikon 55. Utjecaj obrade tla i pokrova na RKV u proljetnom uzorkovanju (2021.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B) 108
Grafikon 56. Utjecaj obrade tla i pokrova na RKV u jesenskom uzorkovanju (2021.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B) 110
Grafikon 57. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na TV u 2021. godini 111
Grafikon 58. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na TV u 2021. godini 112
Grafikon 59. Utjecaj obrade tla i pokrova na TV u proljetnom uzorkovanju (2021.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B) 113

Grafikon 60. Utjecaj obrade tla i pokrova na TV u jesenskom uzorkovanju (2021.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B) 115
Grafikon 61. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na na stabilnost strukturnih agregata u 2021. godini 116
Grafikon 62. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na stabilnost strukturnih agregata u 2021. godini 117
Grafikon 63. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na sadržaj organske tvari u tlu u 2021. godini..... 118
Grafikon 64. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na sadržaj organske tvari u tlu u 2021. godini 119
Grafikon 65. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na prinos jare pšenice u 2021. godini 120
Grafikon 66. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na prinos jare pšenice u 2021. godini ... 121

POPIS SLIKA:

Slika 1. Karakteristike poljoprivrednog proizvođača koji primjenjuje postulate konzervacijske obrade tla (prema Nhamo i sur., 2017) 8
Slika 2. Lokacija pokusnog polja (izvor: Google Earth) i prikaz pedološkog profila na istraživanom tlu 29
Slika 3. Shematski prikaz pokusa 30
Slika 4. Konvencionalna obrada tla (izvor: L. Brezinščak) 30
Slika 5. Minimalna obrada tla (izvor: L. Brezinščak) 31
Slika 6. Minimalna obrada tla (izvor: L. Brezinščak) 31
Slika 7. Priprema (A) i raspoređivanje (B) pšenične slame (izvor: L. Brezinščak) 32
Slika 8. Određivanje fizikalnih svojstava tla: A – uzimanje neporušenih uzoraka tla u polju; B – vaganje uzoraka u laboratoriju; C – postupno postizanje maksimalne zasićenosti uzoraka tla vodom (izvor: L. Brezinščak) 34
Slika 9. Dijelovi penetrometra korištenog u istraživanju (A) i primjena na terenu (B) (izvor: L. Brezinščak) 35
Slika 10. Soja na pokusnom polju u Šašinovcu tijekom 2019. godine (izvor: L. Brezinščak) 37
Slika 11. Kukuruz na pokusnom polju u Šašinovcu tijekom 2020. godine (izvor: L. Brezinščak) 38
Slika 12. Jara pšenica na pokusnom polju u Šašinovcu tijekom 2021. godine (izvor: L. Brezinščak) 39

1. UVOD

Tijekom posljednjeg desetljeća broj klimatski prosječnih godina se smanjio, dok se broj sušnih i vlažnih godina povećao (Jug i sur., 2015). Poljoprivredna proizvodnja, zbog velike ovisnosti o klimatskim uvijetima predstavlja najranjiviju gospodarsku granu, ali je ujedno i jedan od uzroka klimatskih promjena (Spinoni i sur., 2015). Obrada tla je najzahtjevniji energetski proces, ali je ujedno i proces koji se može kombinirati i prilagođavati uvjetima u agroekosustavu. Podneblju neprilagođenom i intenzivnom obradom tla direktno doprinosimo degradaciji tla i klimatskim oštećenjima (Jug i sur., 2017; Bogunović i sur., 2018). Međutim, obrada tla koja je prilagođena agroekološkoj zoni i tipu tla može poslužiti kao mjera ublažavanja prethodno navedenih čimbenika, na način da omogući skladištenje organske tvari, pospješi stabilnost strukture, te konzervira vodu u tlu bez formiranja zbijenog sloja.

Konvencionalna obrada tla, temeljena na oranju uzrokuje gubitak organske tvari iz tla, zbijenost, pokoricu, eroziju (vodom i vjetrom) i smanjuje broj gujavica u tlu (Kisić i sur., 2010; Bogunović i sur., 2018). Iako su negativne strane oranja prepoznate diljem svijeta, pojedini autori ističu i kratkoročni pozitivan utjecaj konvencionalne obrade u obliku suzbijanja korova, štetnika, ali i stabilnost prinosa (Filipović i sur., 2006; Jalli i sur., 2021; Wesołowska i sur., 2022). Stabilnost prinosa najčešći je primjer pozitivnog utjecaja oranja, ali prema višegodišnjim istraživanjima, nema statistički značajne razlike sa pojedinim konzervacijskim sustavima obrade (Bogunović i sur., 2020; Dekemati i sur., 2021). Na području Hrvatske više od 60 % poljoprivrednika plug koristi kao glavno oruđe u obradi tla (Dekemati i sur., 2021). Stabilnost strukturnih agregata tla predstavlja važan čimbenik u osiguravanju održivosti poljoprivredne proizvodnje, a učestalim oranjem smanjujemo stabilnost agregata (Anderson i sur., 2019). Intenzivnim oranjem utječemo na veličinu agregata, te općenito nastaju strukturni agregati nepovoljnih veličina (Sarker i sur., 2018). Iako primjenom pluga možemo smanjiti volumnu gustoću tla, dugogodišnjom primjenom oranja formirati će se slabopropusni podhorizont (Bogunović i sur., 2018), a rahli učinak se brzo gubi, često unutar svega 3-4 mjeseca (Telak i sur., 2020). Učestalo se uz volumnu gustoću koristi i mehanički otpor tla kao indikator fizikalnog stanja tla jer navedeni parametri u međunarodnoj znanstvenoj zajednici služe kao najprihvatljiviji za određivanje zbijenosti tla. U kratkoročnim istraživanjima primjetno je smanjenje otpora tla nakon oranja, ponajviše zbog utjecaja pluga na „rahljenje“ površinskog sloja (Barut i Celik, 2017), no u dugoročnim istraživanjima zabilježeno je formiranje zbijenog sloja, što je izraženo kroz povećanje vrijednosti volumne gustoće i otpora tla (Stošić i sur., 2020). Konzervacijska poljoprivreda ima ključnu ulogu za održivost poljoprivredne proizvodnje koja se temelji na jačanju prirodnih bioloških procesa u tlu i iznad njega, a uključuje trajnu

pokrivenost tla (biljkama i/ili biljnim ostacima), minimalno narušavanje tla obradom i dobro usklađen plodored (Jug i sur., 2017; Jug i sur., 2018). Također, primjena integrirane zaštite bilja i optimalnih količina mineralnih i/ili organskih gnojiva sastavni je dio konzervacijskog sustava kojim se postiže održivost agroekosustava. Prema Jug i sur. (2017) sustave obrade tla dijelimo s obzirom na postotnu pokrivenosti površine tla žetvenim ostacima na: konvencionalnu (< 15 % pokrivenost), reduciranu (između 15 i 30 %) i konzervacijsku obradu tla (> 30 %). Žetveni ostaci poljoprivrednicima otežavaju obradu, te ju oni često polažu na dno brazde (Bogunović i sur., 2018) ili spaljuju iako je u Republici Hrvatskoj spaljivanje žetvenih ostataka zakonom zabranjeno (NN 22/19), što je u skladu sa postulatima konzervacijske obrade tla. Pozitivni učinci konzervacijske obrade na svojstva tla s pozitivnim ekološkim i ekonomskim ishodima doveli su do njenog stalnog širenja (Kassam i sur., 2019). Danas se principi konzervacijske poljoprivrede provode na više od 180 milijuna hektara poljoprivrednih površina u svijetu, dok je u Hrvatskoj na taj način obrađeno 19 000 ha poljoprivrednih površina, što bi bilo oko 1,2 % od ukupnih obradivih poljoprivrednih površina, te smo time ispod Europskog prosjeka (5 %) (Kassam i sur., 2019). Reduciranu obradu osim prema pokrivenosti tla, obilježava smanjenje broja radnih zahvata, rahljenje umjesto okretanja tla, te smanjenje dubine obrade. Uzimajući u obzir svojstva tla i potrebe usjeva, kombinacijom navedenih agrotehničkih mjera smanjujemo degradaciju tla, čuvamo plodnost i umanjujemo negativni utjecaj klimatskih promjena (Mäder i Berner, 2012; Jug i sur., 2017; Brezinščak i Kisić, 2019). Korištenje mrtvog malča pozitivno utječe na smanjenje negativnog utjecaja kinetičke energije kiše, a zatim i na evapotranspiraciju, stvaranje pokorice te eroziju vodom i vjetrom. Trajnim ostavljanjem malča na površini povećava se koncentracija organske tvari u tlu (Hati i sur., 2020), stabilnost strukturnih agregata (Bartlová i sur., 2015), osiguravaju povoljniji vodozračni odnosi u tlu, smanjuje volumna gustoća (Cooper i sur., 2020) tla i pospješuje konzervacija vlage u tlu (Skaalsveen i sur., 2019). Izostavljanjem oranja smanjujemo troškove goriva, te smanjujemo broj prohoda koristeći kombinirana oruđa. S navedenim uštedama, čak i u slučaju jednakih prinosa između konvencionalnih i konzervacijskih sustava ostvarujemo profit. Inozemna iskustva ukazuju da nema statistički značajnih razlika u prinosu između reduciranih i konvencionalnih sustava obrade tla (Diaz-Zorita i sur., 2002). S druge strane nekoliko studija izvijestilo je o minimalnom (5 – 10 %) povećanju prinosa od prve godine prilikom konzervacijske obrade (Košutić i sur., 2005; Faroooq i sur., 2011). Ipak, pojedina istraživanja poput Turley i sur. (2003) upozoravaju na smanjenje prinosa prilikom dugoročne primjene konzervacijskih sustava zbog korova i mogućih bolesti biljaka. Stoga je odluka o primjeni odgovarajućeg sustava konzervacijske obrade važna, i treba biti u skladu s lokalnim klimatskim i pedološkim uvjetima koji se često pokazuju kao ključan čimbenik smanjenja ili

povećanja prinosa (Koch i Stockfisch, 2006). Prema Soane i sur. (2012), prinosi uvelike ovise o kvaliteti tla, lokalnim agroekološkim uvjetima i klimatskim prilikama tijekom godine.

U Hrvatskoj, istraživanja vezana za konzervacijske sustave obrade tla, nisu sustavno provedena, već su se temeljila na entuzijazmu pojedinaca, koji su dominanto provodili pokuse u kontinentalnoj Hrvatskoj. U sjeverozapadnoj Hrvatskoj, Mihalić i Butorac (1969) istražuju sustave obrade koji obuhvaćaju dublju obradu ili izostavljanje obrade na pseudogleju. Međutim, utjecaj sustava obrade tla koji su predloženi u trenutnoj temi istraživanja (konvencionalni, reducirani, konzervacijski) do sada nisu bili sustavno razmatrani u našim agroekološkim uvjetima. Nadalje, navedeni sustavi obrade tla u interakcijskom djelovanju s primjenom mrtvog malča (slama) te njihov utjecaj na svojstva tla i prinos također nije istraživan. Prema lokaciji pokusa, na području Grada Zagreba i Zagrebačke županije nalazi se oko 38 000 ha oranica, a karakteriziraju ih izražena usitnjenost poljoprivrednih parcela, te visoka urbaniziranost. Sve navedeno predstavlja izazov, ali i znanstvenu opravdanost postavljanjem višegodišnjeg istraživanja kojim pokušavamo pronaći optimalni sustav obrade tla u agroekološkim uvjetima ovoga područja, te doprinijeti daljnjem razvoju održive poljoprivredne proizvodnje na prostoru Grada Zagreba i Zagrebačke županije.

1.1. Hipoteze i ciljevi istraživanja

Temeljem pregleda literature postavljene su sljedeće hipoteza istraživanja:

- Konvencionalni sustav obrade tla rezultirati će rahlijim oraničnim slojem i formiranjem zbijenog sloja ispod dubine obrade, te će negativno djelovati na fizikalna svojstva fluvisola;
- Konzervacijski sustavi obrade ostvariti će optimalne vodno-zračne odnose fluvisola i veće prinose ratarskih kultura;
- Primjena slame kao mrtvog malča na fluvisolu pridonijeti će boljoj konzervaciji vlage, i povećati prinose ratarskih kultura.

Temeljem postavljenih hipoteza istraživanja postavljeni su sljedeći ciljevi istraživanja:

- U istraživanom agroekološkom području opisati fizikalna svojstva fluvisola po dubinama na svakom tretmanu obrade tla;
- Testirati utjecaj sustava obrade tla na fluvisolu s najpovoljnijim sadržajem vlage, strukturom tla i prinosima ratarskih kultura;
- Testirati utjecaj malča na sadržaj trenutačne vlage, stabilnost agregata i prinose ratarskih kultura.

2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

2.1. Utjecaj obrade i malča na degradaciju tla

Degradacija tla je ključni element koji onemogućuje održivu poljoprivrednu proizvodnju. Više od 20 % svih poljoprivrednih tala u svijetu degradirano je u nekom obliku (Li i sur., 2020). Smatra se da je glavni uzrok tome konvencionalna obrada tla temeljena na oranju. Iako postoji nekoliko prednosti konvencionalne obrade tla, kao što su stabilni prinosi, suzbijanje korova, kontrola patogena i unos organskog materijala i gnojiva, negativni učinci zabilježeni su kod mnogih autora (Butorac, 1999; Kisić i sur., 2017; Bogunović i sur., 2018; Bogunović i sur., 2020). Dugotrajno kontinuirano korištenje pluga uzrokuje stvaranje „tabana pluga“, koji onemogućuje normalan rast biljaka i kruženje vode, hranjiva i plinova. Nažalost, oranje je dio tradicionalne obrade tla u jugoistočnoj Europi (Birkás i sur., 2014). U Hrvatskoj je, primjerice, uporaba pluga u poljoprivrednoj proizvodnji smanjena za samo oko 25 % u posljednjih 30 godina (Đekemati i sur., 2016). U ekstremnim klimatskim uvjetima takvo obrađeno tlo postaje osjetljivo na pogoršanje fizikalnih svojstava tla (Jug i sur., 2018). Odgovorno upravljanje tlom koje se sastoji od smanjenja dubine i broja zahvata obrade tla i korištenja malča je provjereno rješenje (Busari i sur., 2015; Brezinščak i Bogunović, 2021). Primjena malča (žetveni ostaci) na kultiviranim tlima poboljšava kvalitetu tla i produktivnost povećanjem organske tvari u tlu, a to ima povoljan učinak na različita fizikalna svojstva tla (Kader i sur., 2017).

Malčiranje je poljoprivredna tehnika koja prvenstveno pomaže u uzgoju usjeva smanjenjem evaporacije, suzbijanjem korova, sprječavanjem erozije vjetra i vode, ublažavanjem utjecaja prohoda mehanizacije, povećanjem prinosa i smanjenjem ulaganja u herbicide i pesticide (Ban i sur., 2009). Također je važno spomenuti negativne učinke malčiranja biljnim ostacima, kao što je unos sjemena korova (u sijenu ili slami), zakiseljavanje tla (kora drveta), smanjenje dostupnog dušika tla zbog širkog C/N omjera u nekim materijalima malča poput slame, te povećanje troškova poljoprivrede proizvodnje (potreba za dodatnom ljudskom snagom, logistički problemi u primjeni na međusobno udaljenim parcelama) (Bhardwaj, 2013; Kader i sur., 2017). Malč se smatra bilo kojim materijalom koji se nanosi na površinu tla za očuvanje vlage i plodnosti tla, obično prije, tijekom ili ubrzo nakon sjetve (Jordán i sur., 2011; Gan i sur., 2013). Može se podijeliti u četiri skupine prema porijeklu: biljne ostatke, anorganske, posebne (inertne) i miješane. Malč biljnih ostatka uključuje nusproizvode poljoprivredne proizvodnje (npr. slama od usjeva) i drugih industrija (kora drveća, piljevina, miskantus) koji se s vremenom razgrađuju. Anorganski malč se pak sastoji od plastičnih folija (polietilena) koje se ne razgrađuju brzo i ostaju u okolišu neograničeno dugo. Stoga je malč biljnih ostataka nužna opcija za razvoj poljoprivrede prema smjernicama EU za smanjenje upotrebe plastike (Salama

i Geyer., 2023). Specijalni malčevi, poput pijeska, betona, šljunka ili kaldrme, lako su dostupni, ali se vrlo rijetko koriste kao malčevi (Kader i sur., 2017), uglavnom u dekorativne svrhe, a ponekad i u vinogradima (Pavlů i sur., 2021), dok se tefra (vulkanski pepeo) razmatra samo u vulkanskim područjima (Diaz i sur., 2005). Primjerice, tradicionalan način očuvanja vode i tla na sjeverozapadu Kine uključuje korištenje pijeska i šljunka kao malča, te se koristi već stoljećima (Li, 2003). Mješoviti malčevi sastoje se od svih prethodno navedenih skupina, miješanih na najprikladniji način za proizvođače ili istraživače (Al-Shammary i sur., 2020). Zanimljivo je da poljoprivrednici u Španjolskoj ne prihvaćaju malč od biljnih ostataka zbog nedostatka financijskog poticaja, te smatraju da su takva polja napuštena ili neuredna (Cerdà i sur., 2018a; Cerdà i sur., 2018b). Štoviše, prema Kasirajan i Ngouajio (2012), postoje poteškoće s dovoljnom nabavkom, a smatra se nedostatkom i kvaliteta takvog malča. Na području istočne Hrvatske izvoz slame u ostatak EU dodatni je izvor prihoda poljoprivrednika, što je u 2016. iznosilo 15.635 tona, te prihod od 817 tisuća eura (poslovni.hr). Navedeno predstavlja kratkoročnu financijsku dobit za poljoprivrednika, no dugoročno, iznošenjem organskih ostataka izvan proizvodnog polja, narušavaju se fizikalne karakteristike tla, a time i prinos.

2.2. Utjecaj konvencionalne i konzervacijske obrade tla na fizikalna svojstva tla

Konvencionalna obrada tla temeljena na oranju i danas se smatra najučinkovitijim načinom obrade tla za većinu poljoprivrednih proizvođača u Hrvatskoj. Iako su negativne posljedice poznate, tradicionalni način obrade ima snažan utjecaj na hrvatske poljoprivredne proizvođače, iako postoji više istraživanja koje ukazuju da se troškovi obrade tla smanjuju kada se ne primjenjuje oranje (Košutić i sur., 2006; Birkás i sur., 2014; Kovačev i sur., 2016). Zbog porasta cijena goriva posljednjih desetljeća proizvođači su se spremni opredijeliti za alternativne sustave obrade tla (Meyer-Aurich i sur., 2006; Filipović i sur., 2006; Troccoli i sur., 2015). Osim toga, konvencionalna obrada zahtijeva višestruko prohode teške mehanizacije, što dovodi zbijanja tla (Botta i sur., 2010.). Stoga je potrebno pronaći alternativne sustave obrade tla koju umanjuju degradaciju tla i održavaju plodnost tla (Birkás i sur., 2018).

Mnogi istraživači smatraju da konzervacijska obrada tla nudi mogućnost ublažavanja posljedica klimatskih promjena i zadovoljenje rastućih potreba za proizvodnjom hrane (Lal, 2015; Jug i sur., 2017; Page i sur., 2020). Temelji se na tri međusobno povezana principa: minimalno narušavanje tla obradom, pokrivenost tla biljkama i/ili biljnim ostacima i plodoredu

(Jug i sur., 2017). Prednosti konzervacijske poljoprivrede u odnosu na konvencionalne sustave navedeni su tablici 1.

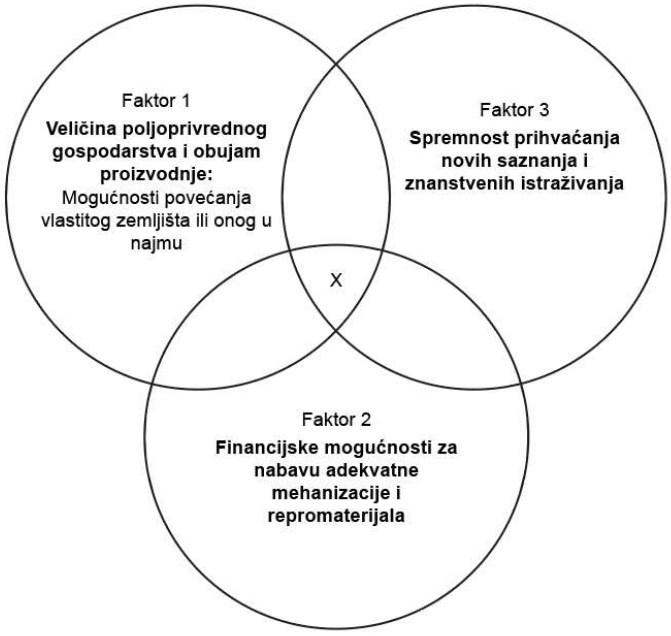
Tablica 1. Podjela prednosti primjene konzervacijskih sustava obrade (preuzeto iz: Jug i sur., 2017)

Kratkoročne prednosti	Dugoročne prednosti
Povećana infiltracija vode i poboljšana struktura tla	Povećan sadržaj organske tvari, poboljšana pristupačnost hraniva, veći kapacitet tla za vodu
Smanjeno površinsko otjecanje vode i erozija tla	Povećanje i stabilnost prinosa
Smanjena evaporacija i negativan utjecaj sunčeve radijacije	Smanjena zakorovljenost
Smanjena učestalost i intenzitet stresa uzrokovan nedostatkom ili suviškom vlage u tlu	Povećanje biološke aktivnosti i raznolikosti u tlu i okolišu
Smanjena potreba za mehanizacijom i ljudskim radom pri obradi tla	Smanjenje troškova proizvodnje

Konzervacijska obrada tla kao praksa razvijena je u Sjevernoj Americi krajem 40-tih i početkom 50-tih godina prošlog stoljeća, kao odgovor na probleme uzrokovane erozijom. Objavljena su prva istraživanja koja su obuhvaćala preporuku ostavljanja žetvenih ostataka, korištenje usjeva za zelenu gnojidbu, kao i različite konstrukcije priključaka za obradu koji „nisu okretali tlo“. Niti jedan znanstveni rad nije pobudio interes za konzervacijskom obradom kao djelo Edwarda Faulknera „Plowman`s Folly“ iz 1943. godine. Autor u svom djelu otvoreno kritizira korištenje pluga koji onemogućuje ascendentno kretanje vode, ubrzano suši oranični sloj, te ubrzava razgradnju organske tvari. Prema riječima samog autora „problem naših tala, je naše (antropogeno) uplitanje“. Derpsch (2005) smatra navedeno djelo tadašnjom prekretnicom u daljnjem razvoju i prihvaćanju konzervacijske obrade. U narednim desetljećima sa razvojem tehnologije i kemijske industrije (herbicidi) povećavaju se površine pod konzervacijskim sustavima. U Europi započinju istraživanja nešto kasnije, ranih 70-ih, a na našim prostorima predvodnici su bili prof. V. Mihalić, prof. A. Butorac, prof. I. Žugec, prof. I. Jurić te prof. I. Mušac.

Obzirom na našu pretežno konvencionalnu obradu tla u uzgoju ratarskih kultura, ali i poteškoćama u ostvarivanju agroekoloških u kojima bi mogli primjeniti konzervacijske postulate, nije čudno da dobar dio naših poljoprivrednika smatra neprihvatljivim odbacivanje pluga (Jug i sur., 2017).

Prelazak na konzervacijsku obradu tla predstavlja niz promjena u načinu provođenja, percipiranja i planiranja poljoprivredne proizvodnje. Na slici 1 navedeni su faktori za koje se smatra da su potrebni u svrhu uspješne primjene konzervacijske obrade tla.



Slika 1. Karakteristike poljoprivrednog proizvođača koji primjenjuje postulate konzervacijske obrade tla (prema Nhamo i sur., 2017)

Volumna gustoća tla (ρ_v) predstavlja vrijednost koja pokazuje odnos koliko je puta masa nekog volumena prirodnog tla s porama teža od jednakog volumena vode (Kisić, 2012). Navedeno svojstvo omogućuje usporedivost sa svim tipovima tala (Hakansson i Lipiec, 2000). Prema Vučić (1987) ρ_v oraničnog sloja obično je u rasponu od 1,0 – 1,4 g/cm^3, no prema recentnijim saznanjima prosječna vrijednost svrstava se u raspon od 1,4 – 1,6 g/cm^3 (Kisić, 2012). Kritična vrijednost za ilovasta i glinasto ilovasta tla iznosi 1,6 g/cm^3, za glinasta tla 1,4 g/cm^3, a za pjeskovito glinastu ilovaču 1,7 g cm^3 (Hazelton i Murphy, 2007). S obzirom da je ρ_v promjenjiva veličina, ovisna o agrotehničkim zahvatima, sadržaju humusa, zbijenosti, strukturi i teksturi, te je ujedno i posljedica slijeganja tla i različitog intenziteta oborina potrebno je odrediti ρ_v

nekoliko puta u sezoni do dubine obrade (Butorac i Bašić, 1989; Pernar, 2017). Jedan od ciljeva obrade tla je smanjenje volumne gustoće tla (ρ_v) i povećanje poroznosti tla. Međutim, u praksi korištenje teških strojeva može lako povećati ρ_v oraničnog sloja (Klute, 1982.). Vrijednost ρ_v je prostorno i vremenski promjenjiva. Na prostornu varijabilnost utječu tekstura, struktura, organska tvar i odabir sustava za obradu tla (Bogunović i sur., 2016.). Vremenski se mijenja prema vrsti i vremenu obrade tla, oborinama, sušenju i vlaženju tla (Alletto i Coquet, 2009.). Mnogi istraživači uspoređivali su utjecaj obrade tla na fizikalno stanje tla. Na pjeskovitoj ilovači trogodišnje korištenje pluga smanjilo je ρ_v sa 1,50 na 1,42 g/cm^3, dok je tanjuranjem smanjeno sa 1,50 na 1,47 g/cm^3 , kao posljedica rahljenja tla (Stošić i sur., 2020.). Međutim, za tla sa visokim udjelom ilovače, vrijednosti iznad 1,4 g/cm^3 mogle bi uzrokovati sporiji rast korijena (Hanks i Lewandowski, 2003.). U semiardinim uvjetima na glinastoj ilovači, oranje nije imalo značajan učinak na ρ_v, ali je ipak zabilježen pad od 6,6 % u odnosu na početnu vrijednost (0 – 20 cm) tijekom četverogodišnjeg eksperimenta (Ordoñez-Morales i sur., 2019). Na istoj parceli dugogodišnji pokus (14 godina) s konvencionalnom obradom tla nije pokazao značajne promjene (Fuentes i sur., 2009). Štoviše, nakon 35-godišnjeg eksperimenta, tretman oranjem nije se značajno razlikovao od ostalih tretmana (tanjuranje i kultivator) obrade na dubini od 0 – 30 cm (Blanco Canqui i sur., 2017). Rezultati sugeriraju da trajanje eksperimenta nije jedini čimbenik koji utječe na ρ_v. Na pseudoglejima je oranjem ρ_v smanjena za 8 % (0 – 10 cm), ali je porasla za 6 % na dubini od 30 – 40 cm u odnosu na no-till, što je objašnjeno formiranjem zbijenog sloja na navedenoj dubini (Bogunović i sur., 2018.). Na rigolanom tlu Istre u humidnim uvjetima u prvoj godini istraživanja nije bilo značajnih razlika između konvencionalne obrade (1,32 g/cm^3) i plitke obrade tanjuračom (1,33 g/cm^3), dok je reducirana obrada tanjuračom i rovilom u jednom prohodu (1,29 g/cm^3) značajno niža od konvencionalne obrade na dubini od 0 do 20 cm. U sljedećoj godini istraživanja zabilježen je porast ρ_v kod konvencionalne obrade (1,39 g/cm^3) i obrade tanjuračom (1,44 g/cm^3), te je međusobna razlika značajna (Bogunovic i sur., 2020). Povećanje ρ_v plićom obradom u odnosu na podrivanje zabilježili su Bogunovic i sur. (2018b) i Lampurlanés i Cantero-Martinez (2003). Na praškastoj ilovači između konvencionalnog sustava obrade i konzervacijskih sustava (rovilo + kombinirano oruđe) nije bilo značajnih razlika tijekom trogodišnjeg istraživanja, ali je zabilježeno blago povećanje na svim sustavim obrade u odnosu na početno stanje (Filipović i sur., 2006). Stoga je nužno mjenjati sustave obrade u određenim vremenskim intervalima na istoj parceli, što je u skladu sa zaključcima Sharma i sur. (2011). U semihumidnim uvjetima Rumnjske na glinastoj ilovači Topa i sur. (2021) bilježe značajno niže vrijednosti ρ_v (1,30 g/cm^3; 1,35 g/cm^3) na obje dubine (0 – 10 i 10 – 20 cm), primjenom rovila (do 30 cm dubine) u odnosu na konvencionalno oranje.

Također, na glinastom tlu u mediteranskoj klimi Celik (2011) istražuje utjecaj različitih kombinacija konzervacijskih (tanjurača do 20 cm; rotodrljača do 15 cm) i konvencionalnih sustava, te bilježi značajno veće vrijednosti ρ_v na konvencionalnim sustavima na dubini 10 – 20 cm.

U aridnim uvjetima na praškasto glinastoj ilovači nije bilo značajnih razlika između reducirane (1.31 g/cm^3) i konvencionalne obrade (1,28 g/cm^3) (Afzalinia i Zabihi, 2014) što se može povezati sa slabom osjetljivošću ρ_v na plitke tretmane obrade tla. Na ilovastom tlu Kanade u aridnim uvjetima Dam i sur. (2005) u oraničnom sloju (0 – 10 cm) nakon 11-godišnjeg ciklusa monokulture kukuruza bilježe značajno manju ρ_v pod CT (1,23 g/cm^3) nego kod reducirane obrade, vjerojatno zbog korištenja tanjurače u oba sustava na podjednaku dubinu. Salem i sur. (2015) u semiardnim uvjetima na ilovastom tlu postavljaju pokus sa: oranjem do 30 cm - CT, i rovilom do 20 cm – MT. Utjecaj obrade bio je podjednak na svim istraživanim dubinama, i to sa najvećim ρ_v kako slijedi: MT>CT. Također bilježe porast ρ_v sa dubinom i sa vremenom proteklim od zadnjeg zahvata obrade, ukazujući na degradirajući učinak bilo kakvog zahvata obrade na dubini do 10 cm.

Mehanički otpor tla (MOP) i ρ_v usko su povezani, te se navedena svojstva obično proučavaju zajedno kako bi se odredila zbijenost tla, te smanjila mogućnost krivih zaključivanja (Díaz-Zorita, 2000). MOP se obično mjeri pomoću penetrometra (Christensen i sur., 1998) i izražava se u MPa, a definira se kao "otpornost tla na prodiranje" (Brady i Weil, 2016). Ovaj parametar je bitan jer se korijenje razvija u aksijalnom i radijalnom smjeru, a kada se suoči s otporom od 1 MPa, produljenje korijena se usporava (Bengough i Mullins, 1990). Na 1,5 MPa rast korijena se kompletno zaustavlja prema Locher i De Bakker (1990), a prema Tayloru i Gardneru (1963), ta granica je postavljena na 2 MPa. Ipak, López-Garrido i sur. (2014) smatraju 3 MPa graničnom vrijednošću iznad koje nastupa izrazito slabo usvajanje hraniva i vode, što će se odraziti smanjenjem prinosa. Općenito, vrh korijena ne može prodrijeti u pore uže nego što je širina promjera korijena, a ovisno o kulturi korijen vrši pritisak od 0,7 do 2,5 MPa (Taylor, 1983; Gregory, 1994). Ipak, uzimajući sve prethodno spomenuto Alesso i sur. (2018) ispravno ukazuje da nema konsenzusa oko navedenih graničnih vrijednosti, i stoga je potrebno uzeti u obzir sve parametre poput tipa tla, biljne vrste i korištene sonde penetrometra. Raznolikost smanjenja rasta korijena pod povećanom otpornošću tla varira između i unutar biljnih vrsta (Cairns i sur., 2011). Različiti agrotehnički zahvati također utječu na MOP (Whitmore i sur., 2011). Vremenska varijacija PR-a je poznata činjenica zbog konsolidacije tla i varijabilnosti vlaženja i sušenja tla (Bogunović i sur., 2018). Glinasta i ilovasto glinasta tla sklona su stvaranju „tabana pluga“ kada se oru kontinuirano na istoj dubini (Imhoff i sur., 2016), ali Barut i Celik (2017) su utvrdili niže vrijednosti MOP na parcelama na kojima se koristi lemešni plug

u odnosu na druge gdje nema obrade tla ili se provodi minimalna obrada tla. Ovaj učinak može se pripisati kratkotrajnom učinku rahljenja tla oranjem. U dugogodišnjim pokusima u Turskoj i SAD-u na ilovastom tlu uočena je veća MOP vrijednost na parcelama bez obrade nego na konvencionalno obrađenim (dubina 0 – 10 cm), što je vjerojatno uzrokovano izostankom obrade tla i čestim prometom strojeva na parcelama bez obrade tla (Gozubuyuk i sur. 2014; Govindasamy i sur., 2021). Klimatski uvjeti usko su povezani s učinkom obrade tla na MOP (Buschiazzo i sur., 1998). U semihumidnim uvjetima na pjeskovito glinastoj ilovači reducirani sustav obrade sa korištenjem rovila (do 25 cm) (RT) i konvencinonalnim oranjem + rovilo (do 25 cm) (CT) kroz sve istraživane dubine (od 0 do 25 cm) nije zabilježilo značajne razlike MOP između istraživanih varijanti (López-Garrido i sur., 2014). Çay i sur. (2018) nisu zabilježili značajne razlike između konvencionalnog i reduciranih sustava obrade (bez korištenja lemešnog pluga) na glinastoj ilovači u subhumidnoj klimi tokom dvogodišnjeg istraživanja, ali u korijenovoj zoni 10 – 30 cm reducirani oblici bilježe niže vrijednosti MOP nego kod konvencionalnog sustava. U subhumidnim uvjetima Argentine na ilovastom tlu Botta i sur. (2010) promatra utjecaj dvije varijante obrade (obradu rovilom do 28 cm i podrivanje do 35 cm). Najveća vrijednost MOP zabilježena je na 40 cm dubine (1,5 MPa), ali su vrijednosti ispod 2,5 MPa. Značajno veće MOP vrijednosti rovilom u odnosu na podrivanje zabilježene su tek dubini od 30 do 40 cm, a pliće i dublje od navednog nisu utvrđene značajne razlike. Isti autori naglašavaju važnost primjene radnih tijela koja ne okreću tlo, barem jednom godišnje.

Dekemati i sur. (2019) u aridnim uvjetima na glinastoj ilovači prati MOP tokom dvije godine (2016; 2017) na dugogodišnjem pokusu sa više načina obrade tla (tanjuranje (12 – 14 cm); plitka kultivacija (18 – 20 cm); duboka kultivacija (22 – 25 cm); podrivanje (40 – 45 cm); oranje (28 – 30 cm). U 2016. prema prosječnim vrijednostima na svima dubinama tanjuranje bilježi najveću MOP vrijednost od 4,04 MPa, dok je na tretmanu oranja MOP 1,01 MPa. Slične vrijednosti kod istih autora zabilježene su i u 2017. Birkás i sur. (2004) ukazuje da je na navedenom pokusu tlo podložno formiranju zbijenog sloja tanjuračom. Nadalje, istraživači ukazuju na važnost mjerenja sadržaja vode u tlu, koja je negativno korelirana s MOP vrijednostima. Snažnu vremensku varijabilnost MOP u pretjerano suhim ili vlažnim tlima bilježe Bogunović i sur. (2019) i Dexter i sur. (2007).

Između tri tretmana obrade (plug (30 cm dubine), plitka kultivacija (22-25 cm), duboka kultivacija (18-20 cm)) Dekemati i sur. (2021) na praškasto ilovastom tlu višegodišnjeg pokusa (2016.-2018.) u humidnim uvjetima utvrđuju tek u zadnjoj godini istraživanja značajno niže vrijednosti MOP na tretmanu s plitkom klutivacijom u odnosu na preostale varijante. Prema prosječnim vrijednostima kroz svih 5 mjerenja tokom godine u 2016. i 2018. na tretmanima s plugom (3,47 MPa; 2,97 MPa) zabilježen je značajno veći MOP u odnosu na plitku (2016. nije mjerena varijanta; 2,29 MPa (2018.)) i duboku kultivaciju (3,05 MPa; 2,52 MPa), dok je u 2017.

na tretmanima oranja (2,36 MPa) i duboke kultivacije (2,28 MPa) zabilježeno značajno manji MOP u odnosu na duboku kultivaciju (2,79 MPa). Također, zamijećeno je povećanje MOP iznad 4 MPa na dubini od 30 i više centimetara. Navedeno sugerira stvaranje zbijenog sloja prema Birkás i sur. (2018).

Kuhwald i sur. (2016) promatra utjecaj tri obrade (plugom do 30 cm; rovilom do 20 cm; tanjuračom do 10 cm) na praškasto ilovastom tlu. Na dubini od 0 do 30 cm prema prosječnoj vrijednosti zahvat oranja (1,46 MPa) bilježi značajno manji MOP u odnosu na preostale reducirane sustave (2,46 MPa; 2,44 MPa). Ispod dubine od 30 cm nema značajnih razlika u MOP. Slične rezultate bilježe Koch i sur. (2008) i Afzalinia i Zabihi (2014). Autori zamjećuju nedostatak plitke obrade u otklanjaju zbijenosti površinskog sloj a, koji je ostao pod većim utjecajem samog prolaska mehanizacije nego zahvata obrade. Također, napominju važnost praćenja ostalih fizikalnih parametara kako bi bolje procijenili stanje tla.

Bogunović i sur. (2019) na glinastoj ilovači promatraju utjecaj šest tretmana (podrivanje 40 – 45 cm; plitka kultivacija 18 – 22 cm; duboka kultivacija 22 – 25 cm; tanjuranje 12 – 16 cm, oranje 30 – 34 cm; direktna sjetva) na PR. Promatrajući prosječne vrijednosti na dubini do 50 cm u istraživačkim godinama 2010.-oj i 2018.-oj nije bilo značajnih razlika između tretmana, što se pripisuje humidnosti godine koja je ravnopravno natopila pokusno polje. U drugoj godini (2011) značajno niža vrijednost MOP zabilježena je na tlu s dubokom kultivacijom u odnosu na preostale tretmane. Prema autorima navedeni način obrade najbolje je iskoristio konzervaciju vode od prošle istraživačke godine, te zajedno sa sušnim razdobljem koje je nastupilo od lipnja do rujna druge istraživačke godine. Sve prosječne vrijednosti (0 – 50 cm) varirale su od 2,09 MPa do 3,29 MPa, dok autori smatraju prihvatljivim za razvoj korijenovog sustava da se MOP nalazi u rasponu 2,0 – 2,5 MPa u navedenim agroekološkim uvjetima.

Struktura tla je način nakupljanja ili agregacija mehaničkih čestica u veće nakupine koji se nazivaju strukturni agregati, odnosno to je prostorni raspored osnovnih sastojaka čvrste faze i pora u tlu (Pernar, 2017). Najpoznatija klasifikacija strukture je prema veličini i obliku strukturnih agregata. Prema veličini dijelimo ih na: mikroagregati (do 0,25 mm promjera), mezoagregati (0,25 – 2,00 mm), makroagregati (2.00 – 50,00 mm), megaagregati (više od 50 mm promjera), a prema obliku razlikujemo stubaste, prizmatične, mrvičaste, plosnate, grudaste i zrnate strukturne agregate (Kisić, 2012). Mikoragregati nastaju koagulacijom, dok veći strukturni agregati (mezo- ili makro-agregati) nastaju povezivanjem mikroagregata procesom granulacije (Pernar, 2017). Struktura tla usko je povezana sa širokim rasponom svojstava i procesa tla i stoga može utjecati na održivost i plodnost tla (Devine i sur., 2014). Formiranje strukturnih agregata tla zahtijeva organsku tvar i minerale koloida kao vezivne elemente (Tisdall i Oades, 1982). Stabilnost strukturnih agregata određena je kvantitetom i

kvalitetom organske tvari u tlu, a poznato je organska tvar i mehanički elementi čine organsko-mineralni kompleks tla. Stabilnost strukturnih agregata (SSA) određuje se prema njihovoj otpornosti na raspadanje u vodi, a smatra se da su manje stabilnosti što se brže raspadnu. Ovaj je pokazatelj vrlo važan u agrotehničkim zahvatima obrade tla, jer pokazuje stabilnost agregata tla na: a) raspadanje pri provedbi obrade tla (npr. oranje, tanjuranje), b) gaženja teškom mehanizacijom, c) izloženosti tla utjecaju oborina (npr. kiša – vlaženje i sušenje) (Amézketa, 1999; Birkás, 2008; Jug, 2015). Odnos između obrade tla i agregacije tla je opširno istražen, uz gubitak labilnih oblika organske tvari iz različitih klasa veličine agregata u konvencionalnoj obradi tla (Six i sur., 2000). Intenzitet sustava obrade tla izravno je povezan s distribucijom veličine strukturnih agregata i omjerom mikro- i makroagregata (Six i sur., 2000b). Konvencionalno oranje usitnjava veće agregate u sitnije agregate, smanjujući stabilnost agregata ali i organsku tvar u tlu (Sarker i sur., 2018). Relativno niža stabilnost agregata zabilježena je korištenjem sustava za obradu tla koji uzrokuju veće poremećaje tla (npr. oranje) (Bronick i Lal, 2005; Anderson i sur., 2019). Sustavi obrade tla s malim ili bez ikakvih poremećaja tla poboljšali su stabilnost agregata u Luvisolu, dok u Vertisolu nije bilo učinka između sustava obrade tla zbog mineralnog sastava tla (Sarker i sur., 2018). Općenito, neporušena tla obično viši sadržaj OT, stabilnost agregata i biološku aktivnost zbog obrade tla (Anderson i sur., 2019). U usporedbi konvencionalne obrade s drugim sustavima obrade tla s manjim poremećajem tla (npr. minimalna obrada tla, reducirana obrada tla) na praškasto glinastoj ilovači, utvrđeno je 8 % i 2 % veću stabilnost agregata u odnosu na konvencionalnu obradu (Brezinščak i Bogunović, 2021). Intenzivno oranje značajno je smanjilo SSA (12 %) u usporedbi s kontrolom bez oranja u Španjolskoj na glinastom tlu (García-Orenes i sur., 2009). Nakon četverogodišnjeg pokusa u Češkoj, na glinenoj ilovači i praškastoj ilovači u subhumidnim uvjetima uspoređujući oranje (do 25 cm), podrivanje (do 33 cm) i plitko tanjuranje (do 15 cm) bilježe na dubini od 0 do 30 cm značajno pogoršanje SSA oranjem u odnosu na ostale varijante na obje lokacije. No, između reduciranih oblika obrade nije bilo značajnih razlika (Bartlová i sur., 2015). Istraživajući SSA pri različitim načinima poljoprivredne proizvodnje (ekološka, konvencionalna višegodišnja, konvencionalna jednogodišnja) na černozemu semiaridnog područja, autori zapažaju značajno manju SSA (75 %) na konvencionalnoj jednogodišnjoj proizvodnji u odnosu na preostala dva načina proizvodnje (oba s SSA oko 85 %). Smatra se da je intenzivna agrotehnika, koja je smanjila sadržaj organske tvari, najviše doprinijela navedenom rezultatu (Ćirić i sur., 2013). Navedeni zaključak sukladan je sa mnogim autorima koji smatraju da konzervacijske metode, odnosno metode sa nikakvim ili minimalnim zahvatima obrade tla značajno doprinose SSA (Angers i sur., 1993; Chan i sur., 1994; Amézketa i sur., 1996; Šimanský i sur., 2016). Norton i sur. (2006) napominje da u humidnim uvjetima intenzivna obrada dodatno pogoršava SSA. Na ovisnost

SSA o tipu tla ukazuju Šimanský i sur. (2016), koji na černozemu bilježe 35 % slabiju SSA pod konvencionalnim metodama (oranje (22 – 25 cm) + sjetvospremač), nego reduciranim metodama (tanjuranje (10 – 12 cm) + sjetvospremač), dok na fluvisolu bilježe 31 % bolju SSA pod reduciranom metodom obrade u odnosu na konvencionalnu.

U subtropskim uvjetima na pjeskovito glinasto ilovastom fluvisolu, Mondal i sur. (2018) istražuju utjecaj sustava obrade na fizikalne parametra tla. Primjenjuju CT (2 x tanjuranje (do 15 cm) + 2 x drljanje), RT (tanjuranje + drljanje) i RT30 (kombinacija RT + 30 % žetvenih ostataka). Na dubini od 0 do 15 cm primjena reduciranih metoda značajno je povećala SSA za 20,7 %, kao i reducirana metoda za žetvenim ostacima za 35,1 %, u odnosu na konvencionalnu metodu. Nadalje, na dubini od 15 cm do 30 cm nije bilo značajnih razlika u SSA, ali reducirana metoda sa korištenjem žetvenih ostataka dala je najbolje rezultate. Pozitivan utjecaj u površinskom sloju rezultat je kratkoročne primjene (manje od 4 godine) konzervacijskih metoda obrade.

Kapacitet tla za vodu (RKV) predstavlja količinu vode koju tlo zasićeno do maksimalnog kapaciteta zadrži nakon gravitacijskog cijeđenja suvišne vode, te predstavlja ključan parametar u klimatskim izazovnim vremenima kako bi se poboljšala reakcija tla na intenzivne oborine ili suše (Abdallah i sur., 2021). Prema rezultatima višegodišnjeg istraživanja (35 godina) na praškasto glinastoj ilovači Nebraske u humidnim uvjetima nije bilo značajnih razlika između zahvata oranja i plitke kultivacije na RKV (0 – 15 cm dubine) (Blanco-Canqui i sur., 2017). Također, dugoročno istraživanje (4 godine) u vlažnim uvjetima Bangladeša na glinastoj ilovači između plitkog oranja (do 8 cm), dubokog oranja (do 15 cm) i korištenja rovila (do 24 cm) nije dalo značajne razlike dublje od 30 cm dubine (Alam i sur., 2014). Na praškastoj ilovači Hrvatske u humidnim uvjetima, Husnjak i sur. (2002) uspoređuju 3 sustava konzervacijske obrade (plug+sjetvospremač, rovilo+tanjurača, rovilo+kombinirano oruđe) sa konvencinonalnom obradom kroz 4-godišnje istraživanje. Uspoređujući sve tretmane i godine, nije bilo značajnih razlika za RKV. Prema McVay i sur. (2006) na praškastoj ilovači u aridnim uvjetima nije bilo značajnih razlika između sustava obrade tla (RT (kultivator) i CT (plug, tanjurača, kultivator)).

Uspoređujući utjecaj tradicionalnog sustava (oranje do dubine od 25 cm) i reduciranog sustava (kultivacija do 10 cm dubine) na praškastoj ilovači u aridnim uvjetima kroz 4-godišnji period na trenutačnu vlagu tla (TV), Stanek-Tarkowska i sur. (2018) bilježe značajno veće vrijednosti kod reduciranog sustava (0 – 5 cm; 5 – 10 cm; 10 – 15 cm) za 18 %, 16 % i 17% u odnosu na tradicionalnu obradu. Sławiński i sur. (2012) uspoređujući iste sustave u sličnim uvjetima kroz 3-godišnje istraživanje (2007.-2009.), bilježe veće vrijednosti TV na svim istraživanim dubinama (5; 15; 30 cm) na Fluvisolu i Kambisolu pod reduciranom obradom nego

tradicionalnom obradom, no samo u 2008. su navedene razlike bile značajne. Małecka i sur. (2015) na ilovači u subhumidnim uvjetima bilježe prosječno značajno veće vrijednosti trenutačne vlage na svim dubinama (0 – 5; 5 – 10; 10 – 15 cm) pod reduciranom oblicima obrade u odnosu na CT. Dok, Wang i sur. (2019) na ilovači Kine u subhumidnim uvjetima u obje istraživačke godine ne bilježi značajne razlike između oranja (do 25 cm) i podrivanja (do 30 cm) na dubinama do 20 cm.

2.3. Utjecaj konvencionalne i konzervacijske obrade tla na prinos ratarskih kultura

Tradicionalno, najpovoljnija karakteristika konvencionalne obrade tla temeljene na oranju je stabilnost prinosa. Prinosi se često uspoređuju po različitim sustavima obrade tla i autori imaju oprečne rezultate. Povijesno i sociološki gledano, smatra se da je veći prinos postignut konvencionalnom obradom (CT) u odnosu na druge sustave obrade tla. Međutim, ova se tema još uvijek smatra kontroverznom (Su i sur., 2021).

2.3.1. Hrvatska

U istočnoj Slavoniji Filipović i sur. (2006) na praškastoj ilovači nisu pronašli značajne razlike u prinosu između CT (do 34 cm), konzervacijske obrade tla (rovilo+kombinirano oruđe) (do 33 cm) u prve tri godine njegovog pokusa. No, u zadnjoj istraživačkoj godini CT je zabilježio značajno manji prinos (8 %), što se može pripisati pozitivnom učinku vertikalne obrade. Također, uspoređujući različite sustave obrade (konvencionalni, konzervacijski I. (rovilo+rotodrljača) i konzervacijski II. (rovilo+kombinirano oruđe) na CT tretmanu je utvrđen nesignifikantno veći prinos kukuruza u odnosu na ostale sustave (Košutić i sur., 2001). Duži negativni učinak CT-a su utvrdili Husnjak i sur. (2002), na praškastoj ilovači kada je najbolji prinos soje zabilježen u prvoj godini pokusa, dok je u ostalim godinama najbolji prinos utvrđen s konzervacijskom obradom, ali bez statistički značajnih razlika tijekom istraživanja. Na černozemu sjeverne Baranje Jug i sur. (2006) uspoređivali su utjecaj različitih sustava obrade tla (CT, višekratno tanjuranje, rahljenje i tanjuranje, jednokratno tanjuranje i no till) na prinos kukuruza. Na istoj pedosistematskoj jedinici Jug i sur. (2005) bilježe značajno niži prinos soje, u dvogodišnjem pokusu, na tretmanu sa jednokratnim tanjuranjem (1,89 t/ha) u odnosu na tretman rahljenje + tanjuranje (2,54 t/ha) i CT (2,60 t/ha), dok prema trogodišnjem prosjeku prinosa kukuruza CT (9,29 t/ha) je zabilježio značajno veće prinose u odnosu na tretman rahljenje + tanjuranje (8,37 t/ha). Špoljar i sur. (2010) na luvisolu ilovaste teksture istražuju

utjecaj vremena primjene oranja u kombinaciji sa više ili manje priključaka za pripremu sjetve, te zaključuju da je statistički značajno najlošiji prinos kukuruza (10,49 t/ha) sa proljetnim oranjem i korištenjem sjetvospremača. U aridnim uvjetima na području Antunovca, nije bilo značajnih razlika u prinosu ozime pšenice između reduciranoh (višekratno tanjuranje) (4,19 t/ha) i CT (4,36 t/ha) sustava obrade (Zebec i sur., 2009). Komljenović i sur. (2011) proučavaju višegodišnja istraživanja različitih sutava obrade tla provedena od 1989. do 2001. na području Kutjeva (pseudoglej); Osijeka (eutrični kambisol) i sjeverne Baranje (černozem) na prinos kukuruza. Sušni uvjeti 1987. i 1988. utjecali su niže prinose po svim ispitivanim sustavima obrade, kroz dvogodišnji prosjek CT (8,3 t/ha) bilježi najviše prinose kukuruza, dok tretman sa tanjuračom + rovilo (7,4 t/ha) značajno najniži. U narednom periodu (1989.-1991.) CT je zabilježio statistički značajno najviše prinose na pseudogleju (7,6 t/ha) i eutričnom kambisolu (6,1 t/ha) u odnosu na druge tretmane, no treba napomenuti da na pseudogleju tanjuranje +plitko oranje (7,4 t/ha) i oranje+rovilo (7,1 t/ha) nisu pokazali značajno manje prinose. Na černozemu (1998.-2001.) najveći prosječni prinos u navedenom periodu zabilježen je na CT tretmanu (9,29 t/ha), te je statistički značajan u odnosu na ostale tretmane. Stoga se može reći da postoji moguća alternativa konvencionalnoj obradi, no zbog varijabilnosti prinosa važno je prilagoditi sustav obrade agroekološkim uvjetima i meteorološkim prilikama. Na pjeskovitoj ilovači Dekemati i sur. (2021) uspoređuju tri sustava obrade (oranje (do 30 cm), plitka (do 20 cm) i duboka kultivacija (do 25 cm)), te na svim test kulturama (ozima pšenica, soja, kukuruz) nije bilo značajnih razlika između prinosa. Autori ukazuju da je zahvat oranja kod svih kultura zabilježio najniže prinose. U Istri, na rigolanom tlu Bogunović i sur. (2020) istražuju utjecaj tri sustava obrade (CT, MT – plitka obrada tanjuračom, RT – obrada tanjuračom i rovilom u jednom prohodu) i tri razine gnojidbe u dvogodišnjem pokusu. Promatrajući samo utjecaj obrade, u prvoj godini istraživanja prinos zobi na CT je bio značajno niži od RT, ali nije bilo značajne razlike između RT i MT. U drugoj godini, prinos ječma je bio značajno veći na CT nego kod RT i MT. Za stabilne prinose autori preporučuju RT obradu. Prema navedenim radovima, vidljiv je pozitivan utjecaj konzervacijske obrade tla u čitavoj kontinentalnoj Hrvatskoj, ali i u mediteranskim uvjetima Istre, koja sa svojim kvalitetnim tlima nudi mogućnost daljnjeg širenja postulata konzervacijske obrade u svrhu povećanja prinosa.

2.3.2. Azija

Uspoređujući utjecaj alternativnih sustava obrade tla (CT, obrada u grebenove (RT), rovljenje (do 30 cm) (ST)) u sjeveroistočnoj Kini na prinos žitarica He i sur. (2021) koristili su više od 70 radova, te iz meta analize dobili sljedeće rezultate: a) u uvjetima sa temperaturom manjom od 3 C°, RT i ST bilježili povećanje za 0,8 % i 13,1 % ($p < 0.05$) u odnosu na CT; topliji uvjeti (iznad 6 C°) pogodovali su rastu prinosa pod RT ali ne značajno; b) ukoliko su padaline bile

ispod 600 mm, ST je bilježio veći prinos nego ostali tretmani, ali bez značajnosti; c) sa duljim provođenjem pokusa (>4) pojačava se pozitivan trend ST tretmana, ali bez značajnosti. Autori preporučuju za hladnije i aridnije regije primjenu ST obrade, dok sa porastom temperature predlažu primjenu RT-a. Uz sve navedeno pozitivno je primijeniti podrivanje svakih nekoliko godina. U istočnoj Kini Zhang i sur. (2009) na praškastoj ilovači uspoređuju dva sustava obrade (CT, podrivanje) na dvije lokacije. Kroz 8 godina (2000-2007) na aridnoj lokaciji zabilježeno je povećanje prinosa 5,80 % pod zahvatom podrivanja u odnosu na CT, sa značajno povećanim razlikama u 5 od 8 godina istraživanja. Na humidnoj lokaciji prosječni prinosi pšenice su bili 7,70 % veći, a prinosi kukuruza 3,31 % veći pri podrivanju nego na CT. Na lesnoj zaravni u Kini pri aridnim uvjetima na pjeskovitoj ilovači Peng i sur. (2020) uspoređuju različite sustave obrade tla (CT, CT sa slamom – TS , CT sa plastičnim pokrovom - TP) na prinos i komponente prinosa jare pšenice. TS i TP bilježe značajno najveći prinos (1,7; 1,5 t/ha) u odnosu na CT tretman.

Hemmat i Eskandari (2004) u aridnim uvjetima Irana na glinastoj ilovači uspoređuju utjecaj tri sustava obrade tla (CT (oranje do 20 cm + tanjuranje do 10 cm); reducirana obrada (rovilo do 15 cm + tanjuranje do 10 cm); minimalna obrada (kultivacija do 10 cm) na prinos i komponente prinosa ozime pšenice. Reducirana obrada zabilježila je značajno veći prinos (1,7 t/ha) od ostalih tretmana (Reducirana obrada > Minimalna obrada > CT).

2.3.3. Sjeverna i Južna Amerika

Dam i sur. (2005) su na pjeskovitoj ilovači u umjerenim klimatskim uvjetima pratili utjecaj CT (oranje do 20 cm + tanjuranje do 10 cm) i reducirane (2 x tanjuranje do 10 cm) obrade na prinos kukuruza uzgajanog u monokulturi u središnjoj Kanadi. Tijekom jedanaestogodišnjeg istraživanja nisu dobili značajne razlike prinosa zrna u odnosu na sustav obrade tla. Stoga nije preporučljivo uzgajati kukuruz kao monokulturu, ali u aridnim uvjetima reducirana obrada ostvaruje zadovoljavajuće prinose. Bez značajnih razlika između prinosa bilježi Kapusta i sur. (1996) uspoređujući CT (oranje+tanjuranje) i reduciranu obradu (rovilo+tanjuranje) na praškastoj ilovači, kao i Linden i sur. (2000) uspoređujući tretmane sa rovilom (17 – 20 cm) i CT (oranje do 20 cm). U višegodišnjim istraživanjima bilježi se izraziti utjecaj klimatskih faktora kroz godine istraživanja, te uz primjenu sustava CT i RT na približno istim dubinama, otežano je postizanje pozitivnog značajnog utjecaja reduciranih ustava. Nadalje, koristeći suvremene tehnologije poput satelita i umjetne inteligencije Deines i sur. (2019) istražili su područje „kukuruznog pojasa“ u SAD-u kroz 13-godišnji period (2005 - 2018) na utjecaj obrade koja se temelji na postulatima konzervacijske obrade na prinos. Analizom satelitskih snimaka, te strojnim učenjem dobili su prosječno 3,3 % i 0,74 % veće prinose kukuruza i soje pod konzervacijskom obradom u odnosu na CT. Važno je naglasiti da su rezultati vezani uz

proizvodnju koja primjenjuje smjernice konzervacijske poljoprivrede dulje od 8 godina. Kraća primjena uzrokuje povećanje na godišnjoj razini od 0,29 % i 0,033 % za kukuruz i soju.

Na 35 poljskih pokusa na humidnom području Argentine Alvarez i Steinbach (2009) su utvrdili manji prinos kukuruza, pšenice, soje bez značajnih razlika između RT (primjena rovila) obrade u odnosu na konvencionalnu obradu oranjem lemešnim plugom. Prema dobivenim rezultatima iz 32 pokusa na istom području Argentine (Pampas) Peralta i sur. (2021) zaključuju da se veći prinosi soje na glinastim tlima, slabe aeracije, te loše perkolacije vode u tlu postižu postupcima vertikalne obrade tla (podrivanja). U aridnim uvjetima Čilea, u trogodišnjem pokusu na pjeskovitoj ilovači Martínez i sur. (2011) uspoređuju različite sustave obrade tla (CT, no till + podrivanje (do 40 cm) jednom u istraživanju). U prvoj godini istraživanja (< 400 mm) varijanta sa podrivanjem bilježi značajno veće prinose zobi u odnosu na CT, dok je u vlažnijim godinama istraživanja (> 500 mm) prinos pšenice i zobi bio bez značajnih razlika. Kontinuirana primjena vertikalne duboke obrade tla, kroz više godina utjecala bi na povećanje prinosa u odnosu na CT obradu tla.

2.3.4. Afrika

Prema meta analizi (79 studija) koja obuhvaća 16 država supsaharske Afrike Corbeels i sur. (2020) istražili su utjecaj konzervacijskih sustava obrade i CT na prinos raznih kultura. Ukupno gledano, konzervacijske metode obrade tla rezultirale su 3,7 % većim prinosom nego CT. Kukuruz je zabilježio značajno veći prinos (4,0 %) konzervacijskom obradom nego CT, dok kod pamuka, riže, sirka, soje i graha (*Vigna unguiculata* (L.) nije bilo značajnih razlika. Nadalje, autori su u svojim rezultatima prikazali utjecaj primjene jednog i/ili više postulata konzervacijske poljoprivrede, želeći na taj način pokušati prikazati neodgovarajuće stanje afričke poljoprivrede u kojoj se malč nakon žetve iznosi sa polja i prodaje, te učestalo primjenjuje monokulturni uzgoj bilja. Izdvojili su kukuruz, te zabilježili nepostojanje značajnih razlika između reducirane obrade i CT. No, kada se uz obradu pridoda ostavljanje malča prinos značajno raste 3,9 % u odnosu na CT. Na kraju, ukoliko se poštuju svi postulati konzervacijske poljoprivrede učinak je značajno veći s 8,4 % većim prinosima nego kod CT. Autori su također prikazali značajan utjecaj padalina na rezultate sustava obrade tla. Veći prinos kukuruza kod konzervacijske poljoprivrede zabilježili su pri <400 mm (12.5 %), 400 – 800 mm (4,5 %), 800 – 1,200 mm (3,9 %), a manji pri > 1,200 mm (-4,3 %) u odnosu na CT. Navedeno se može primijeniti na pojas uzgoja kukuruza u Hrvatskoj, s obzirom da su u tome području padaline između 400 i 800 mm, gdje će poljoprivrednici prateći i primjenući što više smjernica konzervacijske obrade tla postići veće prinose.

Na glinastom tlu Kenije Paul i sur. (2013), u subhumidnim uvjetima kroz 4-godišnje istraživanje, istražuju utjecaj CT (obrada tla motikom do 15 cm) i RT (obrada tla motikom do 3 cm) na prinos soje i kukuruza. Kroz cijelo istraživanje nisu zabilježili značajne razlike između tretmana kod obje kulture. Na istom tlu Kihara i sur. (2012) kroz 10 godina ne bilježe značajne razlike u prinosu soje i kukuruza, primjenjujući rotaciju usjeva (kukruz-soja) i istu tehniku obrade kao i Paul i sur. (2013). Stoga je primjetno da primjena samo određenih smjernica (plodosmjena i minimalna obrada tla) konzervacijske obrade, nije dovoljna za postizanje značajnih povećanja prinosa u odnosu na konvecionalnu obradu tla. Također, primjena jednostavnih alata za obradu tla, na malim površinama, sličnost je sa proizvodnim površinama u sjeverozapadnoj Hrvatskoj, gdje dominiraju hobisti i starije stanovništvo bez modernih alata.

2.3.5. Australija

Na ilovastim pijescima u aridnim uvjetima Roper i sur. (2010) postavljaju višegodišnji pokus (7 godina) na kojem uspoređuju dva sustava obrade (konzervacijsku (drljača do 7,5 cm) i konvencionalnu (frezanje do 8 cm)) na prinos lupine i pšenice. Za obje kulture kroz cijeli pokus nije bilo značajnih razlika između tretmana, a autori zaključuju da je razlog pojava bolesti i suše kroz pokus. No, u sušnijim godinama od prosjeka pokusa, bolji prinosi su ostvareni konzervacijskom obradom, ukazujući da je u navedenim uvjetima, bolje što je moguće manje okretati (rastresati) tlo.

Unkovich i sur. (2023) na podzolu južne Australije u aridnim uvjetima istražuju utjecaj vertikalne obrade podrivanjem do 40 cm i do 60 cm kroz trogodišnji period. Vertikalna obrada je kroz cijeli pokus zabilježila značajno veće prinose ječma i pšenice u odnosu na kontrolu bez obrade tla, no između tretmana nije bilo značajnih razlika. Vertikalnom obradom postiže se efekt razbijanja nepropusnog sloja, te omogućava bolji razvoj korijenovog sustava i bolje usvanje vode. Dublje podrivanje (> 50 cm) predstavlja nepotreban energetski trošak, bez značajnog povećanja prinosa ratarskih kultura.

2.3.6. Europa

U uvjetima mediteranske klime na glinastom tlu Sicilije (Italija) postavljen je višegodišnji pokus (18 godina) radi utvrđivanja utjecaja različitih sustava obrade tla (CT (oranje do 30 cm + plitko tanjuranje) i reducirana obrada rovilom (do 40 cm)). Prema dobivenim prosječnim vrijednostima cijelog istraživanja, nije bilo značajnih razlika u prinosu između sustava obrade. Zanimljivo, tijekom istraživanja u godinama sa visokim indeksom vodnog stresa RT je bilježio

relativno veće prinose u odnosu na druge tretmane, a pri niskom indeksu vodnog stresa situacija je bila obrnuta (Amato i sur., 2013).

Opsežno istraživanje (10 godina) u zapadnoj Mađarskoj na Luvisolu u humidnim uvjetima provode Madarász i sur. (2016) uspoređujući konverzacijski i konvencionalni sustav obrade na prinos raznih kultura. U svom istraživanju, prve tri godine istraživanja nazivaju tranzicijskim periodom, te je u tom periodu za očekivati niže prinose konzervacijskom obradom u odnosu na CT, što je i bio slučaj sa ozimom pšenicom (-10 %) i kukuruzom (-7.4 %). U narednom periodu (*prilagođena konzervacijska obrada*) do kraja pokusa, zabilježili su porast prinosa kod ozime pšenice (6,4 %), kukuruza (17,3 %), uljane repice (12,6 %) i jarog ječma (14,6 %) konzervacijskom obradom u odnosu na CT. Statistički značajne razlike zabilježene su samo kod jaroj ječma i uljane repice. Autori ukazuju na potrebu dugoročnog promatranja sustava za obradu tla, te njegovu prilagodbu agroekološkim uvjetima za postizanje optimalnih prinosa.

U južnoj Mađarskoj, Dekemati i sur. (2019) na černozemu glinasto ilovaste teksture u aridnim uvjetima uspoređuju utjecaj pet sustava obrade tla (tanjuranje, podrivanje, plitka obrada (do 20 cm), duboka obrada (do 25 cm), no till, oranje) na prinos kukuruza i ozime zobi. Za kukuruz se najbolja pokazala plitka kultivacija (9,3 t/ha), te nije bilo statistički značajnih razlika između tretmana. Kod ozime zobi podrivanje (5,8 t/ha), oranje (5,7 t/ha) i duboka kultivacija (5,7 t/ha) zabilježili su najbolje prinose bez značajnih razlika između njih, no značajno veće od preostalih tretmana. Prema autorima tijekom sušnih godina, dublja obrada, doprinosi boljoj propusnosti vode kroz tlo, te pozitivno utječe na prinos.

Liebhard i sur. (2022) u subhumidnim uvjetima Austrije na praškastoj ilovači (černozem) nakon 20-godišnjeg istraživanja između CT (oranje do 25 cm + tanjuranje do 10 cm) i RT (kultivacija do 25 cm i svake četvrte godine istraživanja podrivanje do 35 cm) bilježe prinose bez značajnih razlika (2,38 t/ha; 2,68 t/ha). Iz ovog istraživanja možemo zaključiti da na tipovima tala visoke bonitetne vrijednosti, minimalna intervencija bez okretanja tla dovoljna je za ostarivanje zadovoljavajućih prinosa.

Macák i sur. (2020) prikazali su dio višegodišnjeg istraživanja (1996 - 2015) obrade tla i gnojidbe na prinose graška u Slovačkoj u aridnim uvjetima na Luvisolu. Uspoređujući sustave obrade (CT (do 22 cm); tanjuranje (do 12 cm)) kroz petogodišnji period (2011 – 2015), na varijanti bez gnojidbe tanjuranje (2,71 t/ha) je ostvarilo veći prinos od CT (2,40 t/ha), ali bez značajnih razlika. Autori ukazuju na varijabilnost prinosa kroz istraživački period, pod utjecajem klimatskih prilika, te bilježe značajne razlike kroz sve godine, osim za 2011. U 2012. i 2015. godini CT je ostvario više prinose od varijante tanjuranja, dok je u 2013. i 2014. bila

obrnuta situacija. Minimalna obrada tla praćena ostalim postulatima konzervacijske poljoprivrede može biti održivo rješenje na ovom području.

Ovi rezultati pokazuju da uzgojeni usjevi ne reagiraju na isti način zbog heterogenosti agroekoloških uvjeta proizvodnje. Učinak sustava obrade tla na prinose ovisi o usjevu (Kisić i sur., 2010; Brezinščak i sur., 2022), njegovoj interakciji s plodoredom (Huynh i sur., 2019.), roku sjetve (Arora i sur., 2010), gnojidbi (Jug i sur., 2019; Bogunović i sur., 2020), tipu tla (Lampurlanés i sur., 2001), klimi (de Cárcer i sur., 2019), specifičnosti mikrolokacije (Han i sur., 2013; Brezinščak i Bogunović, 2024), trajanju istraživanja (Lal i Stewart, 1995), trajanju primjene određenog sustava obrade tla (Toliver i sur., 2012) i klimatskim prilikama pojedine godine (Videnović i sur., 2011).

2.4. Utjecaj primjene malča na fizikalna svojstva tla

Mrtvi malč se često koristi za poboljšanje svojstava tla i rasta biljaka. Također je nadaleko poznato da osigurava izvor hrane i stanište za povećanu aktivnost mikroorganizama u tlu i da povećava sadržaj organske tvari u tlu (Saroa i Lal, 2003). Sažetak učinka organskog malča na fizikalna svojstva tla prikazan je u tablici 2.

Tablica 2. Pregled utjecaja malča na fizikalna svojstva tla

Svojstvo tla	Tip malča	Količina	Rezultat	Usjev ili tip tla	Referenca
ρ_v	Pšenična slama	5 t/ha	smanjenje	Fluvisol	Jordán i sur., 2010
	Pšenična slama	8 t/ha	smanjenje	Luvisol	Mulumba i Lal, 2008
	Pšenična slama	4 t/ha	n.s.	Kukuruz	Qamar i sur., 2015
	Rižina slama	4 t/ha	n.s.	Kukuruz	
	Kukuruzovina	3 t/ha	smanjenje	Kukuruz	Ampofo i sur., 2018
MOP	Pšenična slama	9.5 t/ha	n.s.	Černozem	Fan i sur., 2020
	Pšenična slama	4 t/ha	smanjenje	Kukuruz	Qamar i sur., 2015
	Vetiver	2 t/ha	smanjenje	Kukuruz	Are i sur., 2018
	Pšenična slama	7 t/ha	smanjenje	Kukuruz	Pervaiz i sur., 2009
RKV	Pšenična slama	2 t/ha	povećanje	Luvisol	Mulumba i Lal, 2008
	Pšenična slama	12.5 t/ha	povećanje	glina	Meral i sur., 2015
	Pšenična slama	10 t/ha	n.s.	ilovača	Zhang i sur., 2014
TV	Sojina slama	0.7 t/ha	povećanje	Pšenica	Wang i sur., 2019
	Pšenična slama	3 t/ha	povećanje	Soja	Wang i sur., 2019
	Pšenična slama	3 t/ha	povećanje	o. pšenica	Peng i sur., 2015
	Pšenična slama	NA	smanjenje	černozem	Kováč i sur., 2005
SSA	Vetiver	4 t/ha	incresed	Kukuruz	Are i sur., 2018
	Zobena slama	2.5 t/ha	povećanje	Regoslos	García-Orenes i sur., 2009
	Pšenična slama	2 t/ha	povećanje	Luvisol	Mulumba i Lal, 2008
	Pšenična slama	2.5 t/ha	n.s.	soja	Brezinščak i Bogunović, 2021

ρ_v – volumna gustoća tla; MOP – mehanički otpor tla; RKV – retencijski kapacitet tla za vodu; TV – trenutačna vlažnost tla; SSA – stabilnost strukturnih agregata

Učinci malčiranja na volumnu gustoću mogu varirati ovisno o vrsti tla, gospodarenju tlom, vrsti malča, klimi i načinu korištenja zemljišta (Jordán i sur., 2010). Istraživanja su pokazala oprečne rezultate primjene malčiranja. Bottenberg i sur. (1999) primijetili su porast, dok Brezinščak i Bogunović (2021) nisu utvrdili utjecaj na volumnu gustoću na Fluvisolu. Primjena pšenične slame u količini od 10 t/ha i 15 t/ha smanjila je volumnu gustoću na 1,39 g/cm^3 odnosno 1,32 g/cm^3 (Jordán i sur., 2010). Potrebu za većom količinom pšenične slame potvrđuju Mulumba i Lal (2008) jer su pronašli linearno smanjenje volumne gustoće kada je

na Luvisolu primijenjeno 8 t/ha (1,42 g/cm^3) i 16 t/ha (1,35 g/cm^3). Zanimljivo je da na pjeskovitoj ilovači slama od 4 t/ha nije imala značajan utjecaj na volumnu gustoću (Qamar i sur., 2015). U vlažnim uvjetima, 3 t/ha kukuruzne slame ili sijena značajno je smanjilo ρ_v za 10 %, odnosno 19 % (Ampofo, 2018).

Na otpor tla utječu tekstura tla, volumna gustoća tla i sadržaj organske tvari u tlu. Kada se koristi mrtvi malč, svi prethodno navedeni parametri trebali bi poboljšati (tj. smanjiti) MOP tla. Istražujući nekoliko varijanata primjene malča u istoj količini (9,5 t/ha) Fan i sur. (2020) zaključuju da nema značajnih razlika u usporedbi sa kontrolom. Međutim, isti autor promiče novu tehniku, slamu ravnomjerno usitnjuje (1 – 2 cm dužine), koju potom zaorava u tlo tehnikom *eng. crashing ridging technology*, te ju ocjenjuju vrlo povoljnom za MOP jer značajno smanjuje (30,1 %) MOP u odnosu na kontrolu. Razlog leži u njenoj usitnjenost, gdje se slama lakše inkorporira u tlo, te doprinosi stvaranju organske tvari kojom se utječe na smanjenje PR. Inače, Qamar i sur. (2015) izvijestili su o značajnim razlikama između nemalčiranih i malčiranih parcela pri 4 t/ha slame ozime pšenice (smanjenje od 3 %). U Nigeriji na Ultisolu (pjeskovita ilovača) mjerenja su vršena tijekom vlažnog i sušnog razdoblja, u vlažnom razdoblju je bilo dovoljno samo 2 t/ha malča vetivera (*Chrsopogon zizanioides* (L.), Roberty) za značajno smanjenje MOP (15 %), dok u sušnom razdoblju promjene nisu bile značajne niti sa 6 t/ha malča u odnosu na kontrolu (Are i sur., 2018). Na pjeskovitoj ilovači dobivena je značajno manji MOP pri 7 t/ha pšenične slame (579 kPa) i 14 t/ha (464 kPa) u odnosu na kontrolu. Budući da su MOP i sadržaj vode u tlu povezani, nepokrivenim parcelama nedostaje pokrov za smanjenje evaporacije, što rezultira da takve parcele imaju veći MOP (Pervaiz i sur., 2009).

Mrtvi malč štiti površinski sloj tla kako bi se ublažio utjecaj kinetičke energije koju proizvode kišne kapi, poboljšavajući time stabilnost agregata (Bronick i Lal, 2005.). Organski ostaci su korisni za aktiviranje gljiva i bakterija koje mogu poboljšati agregaciju (Hadas i sur., 1994). Pod malčevima se stvaraju uvjeti povoljni za agregaciju tla (viša temperatura tla, sadržaj vode u tlu i organske tvari). Za stvaranje stabilnih agregata potrebne su čestice tla i organski materijal, oni su temeljne komponente strukture tla, a time i samog tla (Lynch i Bragg, 1985; Munkholm, 2011). Prema Mulumba i Lal (2008), u vlažnim uvjetima na praškastoj ilovači (stagnic Luvisol) SSA se povećavao od 38 % do 67 % sa povećanjem aplicirane slame pšenice (0 – 16 t/ha). Sličan pozitivan značajan učinak utvrđen je i pri višim količinama (4 t/ha i 6 t/ha) malča vetivera. Jedan od razloga je svakako i znatna aktivnost glista u tretmanima pod malčom (Are i sur., 2018). U Hrvatskoj je u vlažnim uvjetima primjena 2,75 t/ha pšenične slame rezultirala samo 5 % većim SSA u odnosu na parcele bez pokrova (Brezinščak i Bogunović, 2021). U mediteranskim uvjetima primjena zobene slame (2,5 t/ha) rezultirala je značajnim povećanjem SSA (s početnih 62 % na 75 %) (García-Orenes i sur., 2009).

Malčiranje se smatra najboljom metodom za očuvanje vlage u tlu i smanjenju evaporacije (Suying i sur., 2005; Kader i sur., 2019). Primjerice, Ji i Unger (2001) već sa 2 t/ha pšenične slame bilježe smanjenje evaporacije i bolje zadržavanje vlage u tlu. Sa istom količinom pšenične slame (2 – 16 t/ha) Mulumba i Lal (2008) ukazuju da se može poboljšati kapacitet tla za vodu i njena iskoristivost. Wang i sur. (2019) proveli su višegodišnje istraživanje (2013. do 2016.), radi proučavanja učinka bez slame (S0), 50 % preporučne količine slame S1/2 (700 kg/ha sojine slame i 3000 kg/ha pšenice slame), i 100 % preporučene količine slame S1 (1400 kg/ha sojine slame i 6000 kg/ha pšenične slame) na dvopoljni plodored (soja-pšenica). U humidnim uvjetima na praškasto glinastoj ilovači (Anthrosol) nije bilo značajnih razlika TV između S1/2 i S1, dok su kod S1/2 i S1 zabilježene značajno veće vrijednosti u odnosu na S0 u usjevu soje. Korištenje prirodnog malča je glavni razlog povećanja TV (Palm i sur., 2014) smanjujući evaporaciju, na ekonomski prihvatljiv i održiv način (Qin i sur., 2013). U aridnim uvjetima sjeverozapadne Kine na pjeskovitoj ilovači nakon 5-godišnjeg istraživanja utjecaja malča od kukuruzovine i šljunka u usjevu lucerne, Jun i sur. (2014) zaključuju da nije bilo značajnih razlika u vrijednosti TV između tretmana na dubini od 5 cm, zbog snažnog djelovanja vjetra i sunčeve radijacije, ali na dubini od 15 cm bilježe značajno veće vrijednosti oba malča u odnosu na kontrolu. Visoke količine pšenične slame (12,5 t/ha; 25 t/ha) na glinastom tlu Turske bilježe značajno veće vrijednosti RKV u odnosu na kontrolu, ali bez značajnih razlika između malčiranih tretmana (Meral i sur., 2015). U obalnoj Kini na praškastoj ilovači Zhang i sur. 2014 u svom istraživanju primjenjuju pšeničnu slamu, te na jednom od tretmana (10 t/ha pšenične slame) bilježe nesignifikantno povećanje RKV na dvjema dubinama (0 – 10 cm; 10 – 20 cm) u odnosu na kontrolu. Peng i sur. (2015) na černozemu sjeverozapadne Kine kroz trogodišnji period uspoređuju primjenu tri razine pšeničnog malča (3 t/ha; 6 t/ha; 9 t/ha) u dvije faze (vegetacijski period i cjelogodišnji period). Prema dobivenim rezultatima na dubini 0 – 20 cm, primjena malča bilo koje razine, ali tijekom cjelogodišnjeg razdoblja značajno povećava vlagu u tlu u odnosu na samo vegetacijsku primjenu. Aplikacijom već od 3 t/ha bilježe se značajno veće vrijednosti vlage u tlu u odnosu na kontrolu. Autori zaključuju da je pozitivan utjecaj malča tokom cijele godine zbog smanjenja evaporacije u periodu godine bez kulture. No, napominju da klimatske prilike značajno doprinose statistički značajnim razlikama. Značajno manje vrijednosti TV na ilovači bilježe Kováč i sur. (2005) na tretmanu bez okretanja tla + malč (14,7 %) u odnosu na konvencionalno obrađen tretman (15,7 %). Autori smatraju da je važnije osigurati bolju inflitraciju vode okretanjem tla, nego spriječiti evaporaciju.

2.5. Utjecaj primjene mrtvog malča na prinos

Utjecaj organskog malča na prinos ovisi o usjevu, klimatskim uvjetima, svojstvima tla (Pituello i sur., 2016), količini i vrsti malča (Iqbal i sur., 2020). Sažeti pregled učinka primjene malča na prinos prikazan je u tablici 3.

Tablica 3. Utjecaj primjene malča na prinos

Vrsta malča	Količina	Rezultat	Usjev	Referenca
Pšenična slama	6 t/ha	Negativan	Kukuruz	Lu i sur., 2015
Pšenična slama	4.6 t/ha	Pozitivan	Soja	Kader i sur., 2019
Pšenična slama	5 t/ha	Pozitivan	Soja	Dass i Bhattacharyya, 2017
Pšenična slama	2.75 t/ha	Pozitivan	Soja	Brezinščak i Bogunović, 2021
Pšenična slama	6 t/ha	Pozitivan	Soja	Akhtar i sur., 2019
Kukuruzovina	4.5 t/ha	Pozitivan	o. pšenica	Yan i sur., 2018
Pšenična slama	4 t/ha	Pozitivan	o. pšenica	Qamar i sur., 2015
Rižina slama	4 t/ha	Pozitivan	o. pšenica	Qamar i sur., 2015
Rižina slama	7.5 t/ha	Pozitivan	Uljana repica	Su i sur., 2014
Pšenična slama	4.5 t/ha	n.s.	Pamuk	Sui i sur., 2015
Ječmena slama	5 t/ha	Pozitivan	Pamuk	Ma i sur., 2019
Kukuruzovina	3 t/ha	Negativan	o. pšenica	Chen i sur., 2007

Primjena malča (slama) značajno je smanjila prinos kukuruza za 18 % u humidnim uvjetima na černozemu (Lu i sur., 2015). Isti učinak smanjenja prinosa kukuruza potvrdili su i Chen i sur. (2011) provevši statističku analizu oborina za 44-godišnje razdoblje na području sjeveroistočne Kine, te preporučuju primjenu reducirane obrade tla i malča. U humidnim uvjetima s primjenom 4,6 t/ha pšenične slame, Kader i sur. (2019) utvrdili su značajno povećanje prinosa soje od 6 %, a slična količina slame zabilježila je značajan porast prinosa soje od 16 % u Indiji (Dass i Bhattacharyya, 2017.), dok je s 2,75 t/ha slame zabilježeno relativno povećanje prinosa soje za 16 % u Hrvatskoj (Brezinščak i Bogunović, 2021). Pozitivan utjecaj malčiranja na prinos soje može se pripisati boljoj nodulaciji i višoj razini klorofila u lišću (Siczek i Lipiec, 2011; Kader i sur., 2019b). U suptropskim vlažnim uvjetima južne Kine, ni riža ni ozima pšenica nisu bile produktivne s kombinacijom rižine (10 t/ha) i pšenične slame (7 t/ha) uobičajeno korištene u ovim područjima (Pittelkow i sur., 2015). U istoj regiji, Zhang i sur. (2015) primjenjuju 3 t/ha pšenične slame u sezoni uzgoja riže i 5 t/ha rižine slame u sezoni uzgoja pšenice, te bilježe značajno veće prinose (28,3 %) pšenice, dok kod riže nije bilo značajnih razlika u odnosu na tretmane bez slame. U semiaridnim područjima 6 t/ha pšenične slame bilo je dovoljno za značajno poboljšanje prinosa soje za 15 % (Akhtar i sur., 2019). Također, u semiaridnim uvjetima, 4,5 t/ha kukuruzne slame značajno je povećalo prinos ozime pšenice za 17 % (Yan i sur., 2018). U sušnim područjima (npr. sjeverna Kina),

mrtvi malč je bogati izvor organske tvari koja učinkovito utječe na prinos (Cook i sur., 2006). U navodnjavanoj ozimoj pšenici u semiaridnim uvjetima, 4 t/ha slame riže i 4 t/ha pšenične slame značajno su povećale prinos za 20 %, odnosno 4 % (Qamar i sur., 2015). U sličnim uvjetima, 3 t/ha i 6 t/ha kukuruzni malč smanjio je prinos u prosjeku za 5 % odnosno 7 % tijekom petogodišnjeg pokusa (Chen i sur., 2007). Na prinos uljane repice značajno je (25 % veći od kontrole) utjecala primjena 7,5 t/ha rižine slame u aridnim uvjetima na ilovastom tlu (Su i sur., 2014). Pozitivan učinak primjene malča najizraženiji je zbog očuvanja vlage u tlu u aridnim sredinama, što kasnije utječe na prinos (Hunag i sur., 2005). Prinos pamuka na glinastoj ilovači i na pjeskovitoj ilovači nije se značajno razlikovao u vlažnim uvjetima na obje razine malča od pšenične slame (4,5 t/ha; 9 t/ha), vjerojatno zbog niskog oslobađanja kalija iz malča (Sui et al., 2015). Na pjeskovitoj ilovači u humidnim uvjetima primjenom 5 t/ha ječmene slame u 4-godišnjem istraživanju, zabilježeno je značajno povećanje prinosa (od druge godine istraživanja) u odnosu na kontrolu, što je direktan rezultat boljeg usvajanja makroelemenata iz tla (Ma i sur., 2019).

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Lokacija istraživanja i značajke pokusnog polja

Istraživanje je provedeno na površinama Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta na pokušalištu Šašinovec (45°50' N; 16°11' E; 120 nmv) na administrativnom području Grada Zagreba (slika 2). Lokacija pripada Zapadnoj Panonskoj regiji (Bašić, 2014). Istraživanje se nalazi na aluvijalnoj ravni rijeke Kašine u umjerenoj toploj kišnoj klimi (Cfwbx", prema Köppen-u) (Penzar i Penzar, 2000). Tekstura tla je praškasto glinasta ilovača. Tlo je slabo alkalno, sa srednjim sadržajem organske tvari, bogato P_2O_5 i K_2O, te je dobro opskrbljeno ukupnim sadržajem dušika. Detaljan prikaz fizikalnih i kemijskih svojstava tla na mjestu istraživanja prikazan je u tablici 4.

Tablica 4. Fizikalna i kemijska svojstva istraživanog tla

	Dubina tla (cm)	
	0 – 10	10 – 20
$pH_{(KCl)}$	7,49	
Organska tvar (%)	3,6	
Ukupni dušik (%)	0,2	
Fosfor (mg/kg)	249	
Kalij (mg/kg)	214	
Volumna gustoća (g/cm^3)	1,34	1,28
Gustoća prava (g/cm^3)	2,72	2,60
Kapacitet tla za vodu (vol %)	43,7	44,1
Kapacitet tla za zrak (%)	6,8	6,5
Poroznost (%)	50,4	50,6

Na temelju morfoloških svojstava i analitičkih podataka, utvrđeno je da istraživano tlo prema klasifikaciji tala prema Škorić i sur. (1985) pripada odjelu hidromorfnih tala, klasa nerazvijenih hidromorfnih tala, te tipu tla fluvijalno tlo.

Generalno se može ustvrditi da je fluvijalno tlo rasprostranjeno na poplavnim terenima koji se pružaju uz veće ili manje rijeke. Ukupna površina u agroekosustavu Hrvatske iznosi 93.026,3 ha (Husnjak, 2014). Otvaranjem pedološkog profila na istraživanoj lokaciji utvrđena su četiri pothorizonta: Ap - praškasto glinaste ilovaste teksture, krupno mrvičaste do mrvičaste strukture sa žetvenim ostacima tamno sivo smeđe boje, jako karbonatno, na dubini od 45 cm prelazi u Gso - slabo oglejni, praškasto glinaste teksture, graškasto orašaste strukture, slabije slijepljene sive boje, srednje zakorjenjeno od žetvenih ostataka, jako karbonatno do dubine od 75 cm, potom prelazi u Gso - umjerenog inteziteta, praškaste glinaste teksture sa izmjenama sivih i smeđih mrlja, srednje gusto sitnih nakupina seskvioksida, plastično i ljepljivo do dubine 109 cm, gdje prelazi u IIGr - glejni redukcijski horizont, gdje nalazimo taložne organske tvari (ugljena i drvenaste riječne sedimente), te fosilne ostatke stabla, glinaste teksture, te ne izražene strukture prošarane hodnicima lumbricida. Karakteristika nastajanja ovog tla je hipoglejni način vlaženja. Vlaženje je periodično oborinskim te podzemnim vodama koje dopiru maksimalno do jedan metar ispod površine tla. Proizvodni potencijal je različit s obzirom na sljedeća obilježja: učestalost plavljenja, razina podzemne vode i trajanje njezine prisutnosti u površinskom dijelu profila, dubina do šljunka, tekstura tla te prisutnost pjeskovitih, glinastih ili jako skeletnih slojeva u pedološkom profilu. Najveći dio fluvijalnih tala ima visoki proizvodni potencijal, međutim, u daljnjem korištenju treba obratiti pozornost na niski sadržaj humusa, strukturu, te nisku opskrbljenost hranivima, stoga, gnojidba mineralnim i organskim gnojivima treba predstavljati redovitu agrotehničku mjeru.

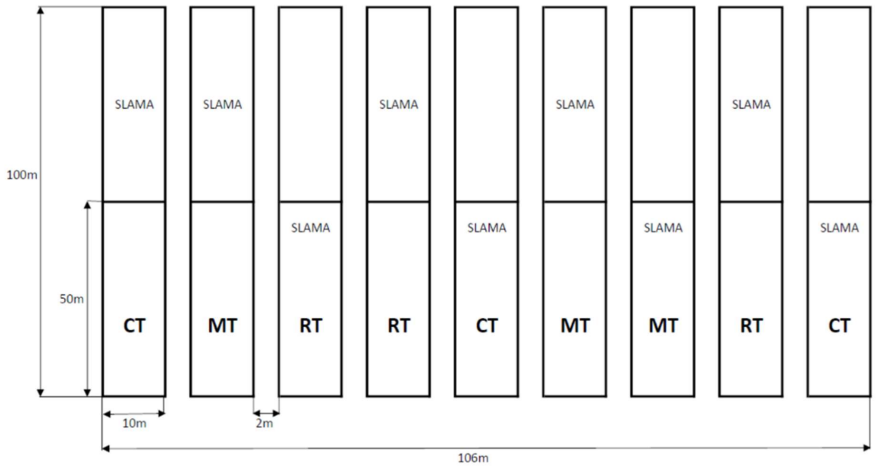
Prema kriterijima Svjetske referentne osnovice za talne resurse (IUSS Working group WRB. (2015), istraživano tlo pripada referentnoj skupini tala Fluvisols.

Dubina (cm)	Horizont
0 – 40	Ap
40 – 75	Gso
75 – 109	Gso
109 – 140	IIGr

Slika 2. Lokacija pokusnog polja (izvor: Google Earth) i prikaz pedološkog profila na istraživanom tlu

3.2. Eksperimentalni dizajn

Pokusno polje postavljeno je u split-plot raspored s tri ponavljanja za svaki sustav obrade (slika 3) predstavljen slovima (CT, MT, RT). Svaki blok (100 m x 10 m) predstavlja različiti sustav obrade, te je razdvojen na dio sa malčem (slamom) ili bez malča koji čini podfaktor (50 m x 10 m) pokusa. Širina zaštitnog pojasa između pojedinih blokova pokusa iznosi 2 m, a širina uvratina na kraju blokova iznosi 10 m. Polje je 100 m dugo i 106 m široko, ukupne površine 10 600 m^2.



CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla

Slika 3. Shematski prikaz pokusa

Sustavi obrade koji čine tretmane pokusa su sljedeći:

Konvencionalna obrada tla (CT) (slika 4) – oranje lemešnim plugom (18 – 20 cm) u jesen (A) i tanjuranje u proljeće (B);

Slika 4. Konvencionalna obrada tla (izvor: L. Brezinščak)

Minimalna obrada tla (MT) (slika 5) – obrada tla kombiniranim oruđem (kultivator+tanjurača+valjak) (10 – 15 cm) u proljeće;

Slika 5. Minimalna obrada tla (izvor: L. Brezinščak)

Reducirana obrada tla (RT) (slika 6) – podrivanje (35 – 40 cm) u jesen (A) i primjena kombiniranog oruđa (10 – 15 cm) u proljeće (B).

Slika 6. Minimalna obrada tla (izvor: L. Brezinščak)

U tablici 5 prikazan je detaljan opis korištenih priključaka. Predsjetvena priprema rotodrljačom, sjetva i drugi potrebni zahvati zaštite i gnojidbe provode se na konvencionalan način sukladno uobičajenoj proizvodnoj praksi. Za provođenje agrotehničkih zahvata korišten je traktor snage motora 116 kW i mase 6090 kg (John Deere 6930, SAD).

Tablica 5. Opis priključaka korištenih u pokusu

Agrotehnički zahvat	Priključak	Dubina obrade (cm)	Širina obrade (cm)
Podrivanje	Mandan MGW 5 3000	35 – 40	300
Oranje	Kuhn Varimaster 151	18 – 20	150
Tanjuranje	OLT 36 Drava	10 – 14	395
Rahljenje	Dexwal Grunt	10 – 15	300
Predsjetvena priprema	Maschio ASI 2	1 – 4	185
Sjetva	Kverneland Accord DL300	2 – 6	290

3.3. Korištenje malča

Mrtvi malč korišten u ovom istraživanju proizveden je lokalno u obliku četvrtastih ili rolo (valjkastih) bala. Prema Španić (2016) najviše slame ostaje nakon žetve pšenice, te je ista korištena kontinuirano tokom istraživanja. Usitnjena pšenična slama aplicira se svake godine nakon sjetve zadane kulture u količini od 2,75 t/ha (140 kg po osnovnoj parceli pokusa) (slika 7). Navedena količina je odabrana kao optimalna za agroekološke uvjete pokusa, te je veća od minimalno potrebne količine (1,1 t/ha) prema smjernicama konzervacijske obrade tla (Jug i sur., 2017). Koristeći pokrivenost tla žetvenim ostacima, možemo definirati o kojem sustavu obrade tla se radi. Prema postotnoj pokrivenost površine tla žetvenim ostacima nakon obrade tla i sjetve naknadne kulture, sustavi obrade tla se dijele na sljedeći način:

- Konvencionalna obrada tla: pokrivenost površine tla žetvenim ostacima manja od 15 %, ili manje od 550 kg/ha žetvenih ostataka žitarica na površini,

- Reducirana obrada tla: pokrivenost površine tla žetvenim ostacima od 15 – 30 %, ili 550 – 1100 kg/ha žetvenih ostataka žitarica na površini,

- Konzervacijska obrada tla: pokrivenost površine tla žetvenim ostacima veća od 30 %, ili više od 1100 kg/ha žetvenih ostataka žitarica na površini (Jug i sur., 2017).

Slika 7. Priprema (A) i raspoređivanje (B) pšenične slame (izvor: L. Brezinščak)

3.4. Način uzorkovanja i laboratorijske analize svojstava tla

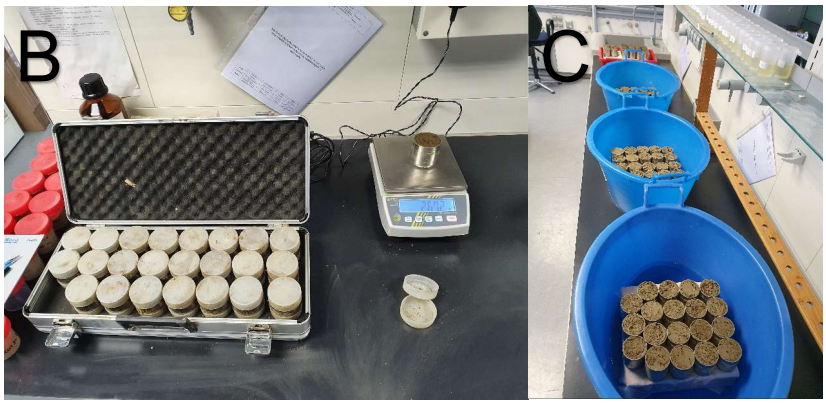
U ovom istraživanju prate se sljedeća fizikalna svojstva tla: trenutačna vlažnost, volumna gustoća tla, kapacitet tla za vodu, mehanički otpor tla, stabilnost strukturnih agregata. Uzorci za provođenje analiza tla uzeti su odmah nakon sjetve, te neposredno nakon žetve kultura. Uzorkovanje tla obavljeno je pomoću metalnih cilindara (po Kopecky) volumena 100 cm^3. Uzorci su uzimani iz dvije dubine (0 – 10 cm; 10 – 20 cm) u tri ponavljanja za svaku dubinu, sa ukupno 108 uzoraka po mjerenju. Fizikalne analize tla i interpretacija podataka provedeni su uz korištenje uobičajenih metoda u skladu s međunarodnim HRN ISO standardima (HRN ISO 11272:2004, HRN ISO 11508:2004, HRN ISO 11465:2004, HRN ISO 11277:2004) u laboratoriju Zavoda za opću proizvodnju bilja, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet. Trenutačna vlažnost, volumna gustoća i kapacitet tla za vodu određeni su gravimetrijski vaganjem, retencijskim vlaženjem i sušenjem na 105 °C u razdoblju od 72 sata iz neporušenog uzorka tla volumena 100 cm^3 (slika 8). Dinamika antropogenog zbijanja praćena je i mjerenjem mehaničkog otpora tla ručnim penetrometrom (Eijkelkamp Penetrologger 06.15.SA + ML2x (slika 9)). Dinamika mjerenja obavljena je istovremeno kada su uzimani neporušeni uzorci tla. Postupak mjerenja imao je 4 ponavljanja po svakoj parceli, što čini ukupno 72 mjerenja po jednom uzorkovanju. Dubina mjerenja je 40 cm, a stožac upotrijebljen za mjerenje ima kut konusa od 60 °C, a brzina penetriranja je 2 cm/sek. Površina stožca je 1 cm^2. Uzorci za određivanje veličine strukturnih agregata nakon pažljive pripreme prstima, zrakosuho se suše, te vibracijsko prosijavaju u vremenu od 30 sek (Dıaz-Zorita i sur., 2002). Svaka frakcija agregata vagana je radi određivanja njihovog udjela u tlu. Prema Kemper i Rosenau (1986) odredila se i izračunala stabilnost strukturnih agregata prema sljedećoj formuli:

$$WSA = \frac{Wds}{Wds + Wdw}$$

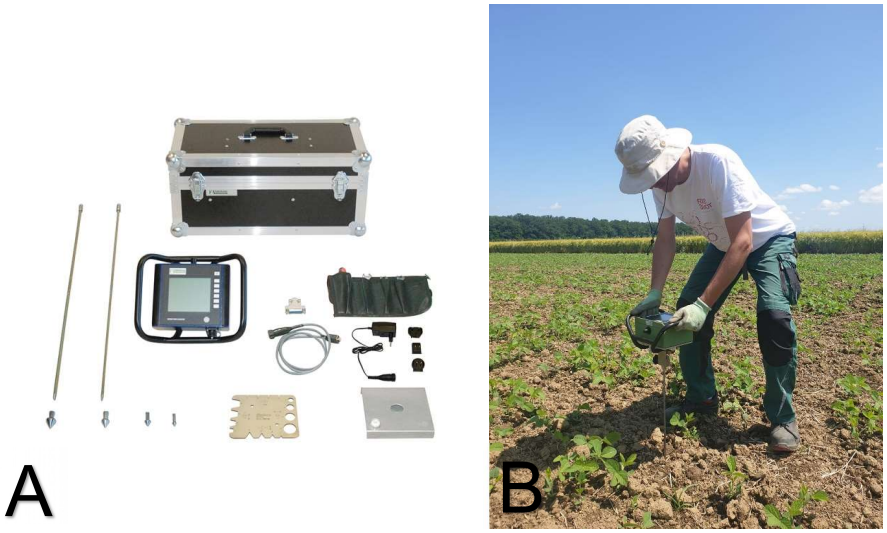
Wds = masa agregata raspadnutih u natrijevom hidroksidu (NaOH)

Wdw = masa agregata raspadnutih u destiliranoj vodi.

A



Slika 8. Određivanje fizikalnih svojstava tla: A – uzimanje neporušenih uzoraka tla u polju; B – vaganje uzoraka u laboratoriju; C – postupno postizanje maksimalne zasićenosti uzoraka tla vodom (izvor: L. Brezinščak)



Slika 9. Dijelovi penetrometra korištenog u istraživanju (A) i primjena na terenu (B) (izvor: L. Brezinščak)

Uzorkovanje prosječnih uzoraka tla za potrebe određivanja organske tvari u tlu u svakoj godini istraživanja provedeno je nakon žetve (0 – 20 cm). Uzorci tla uzorkovani su pedološkom sondom (Eijkelkamp, Nizozemska) na svakoj parcelici. U analitičkom laboratoriju Zavoda za opću proizvodnju bilja, Sveučilište u Zagrebu Agronomskog fakulteta provedene su analize tla sa svrhom utvrđivanja ukupnog ugljika. Priprema uzoraka tla za potrebe laboratorijskih analiza (sušenje, mljevenje, prosijavanje, homogenizacija, odvajanje uzoraka za potrebe analiza i arhivu) provedena je prema protokolu koji je normiran s HRN ISO 11464:2009. Određivanje sadržaja ukupnog ugljika u tlu provedeno je metodom suhog spaljivanja na Vario Macro CHNS analizatoru (Elementar, Njemačka) prema protokolu HRN ISO 10694:2004 za sadržaj ukupnog ugljika. Dobivene vrijednosti preračunate su koeficijentom 1,724 kako bi se dobila organska tvar u tlu, a izražene su u postotcima (Hazelton i Murphy, 2007) (tablica 6).

Tablica 6. Klasifikacija sadržaja organske tvari u tlu (prilagođeno prema Hazelton i Murphy, 2007)

Sadržaj organske tvari (%)	Kategorija
< 0,70	Izrazito niska
0,70 – 1,00	Jako niska
1,00 – 1,70	niska
1,70 – 3,00	osrednja
3,00 – 5,15	visoka
> 5,15	Izrazito visoka

Prinosi su determinirani vaganjem sjemena sa svake požete parcele te izraženi u t/ha. Sa svake se je parcele uzorak za utvrđivanje prinosa zrna prikupio u tri ponavljanja.

3.5. Agrotehnika i plodored test kultura

Kulture koje su zastupljene u plodoredu odgovaraju proizvodnom plodoredu na Pokušalištu Šašinovec:

1. godina: 2019. – soja

2. godina: 2020. – kukuruz

3. godina: 2021. – jara pšenica

Prva kultura prema plodoredu 2019. godine bila je soja (sorta AFZG ANA - 0) (slika 10). Predkultura soji bila je ozima pšenica. Oranje rešetkastim plugom provedeno je 6. prosinca 2018. godine, a podrivanje 11. studenog 2018. Proljetni zahvati tanjuranja i primjene kombiniranog oruđa provedeni su 23. travanja 2019. Sjetva soje provedena je 25. travanja 2019., a gustoća sjetve je iznosila 60 biljaka/m^2. Predsjetvena gnojidba NPK 7-20-30 (500 kg/ha) provedena je 24. travanja 2019. Zaštita usjeva od korova provedena je 7. lipnja 2019. kombinacijom herbicida Harmony SX (7,5 g/ha) i Laguna 75 WG (70 g/ha), te 21. lipnja 2019. sa Pulsar 40 (1 l/ha) i Basagran 480 (1 l/ha). Žetva soje provedena je 19. listopada 2019.

Slika 10. Soja na pokusnom polju u Šašinovcu tijekom 2019. godine (izvor: L. Brezinščak)

Komentirano [IK1]: Luka bilo bi zanimljivo da za prezentaciju na obrani na slike usjeva staviš slova od varijanti obrade i gje je bila slama, također da označiš

U istraživačkoj godini 2020. zasijan je kukuruz (hibrid Bc424 – FAO 460) (slika 11). Oranje plugom provedeno je 18. prosinca 2019. godine, dok je zahvat podrivanja zbog meteoroloških neprilika proveden 4. ožujka 2020. Proljetni zahvati tanjuranja i primjene kombiniranog oruđa provedeni su 23. travanja 2020. Sjetva kukuruza provedena je 30. travnja 2020. godine na dubinu od 2 do 4 cm. Međuredni razmak bio je 70 cm, a razmak unutar reda 19 cm čime je dobiven sklop od 65 000 biljaka po hektaru. Predsjetvena gnojidba provedena je 17. travnja 2020. sa NPK 7-20-30 (400 kg/ha) i UREA-om 46 % N (100 kg/ha). Zaštita usjeva herbicidima provedena je 11. svibnja 2020. sa preparatom Lumax (4 l/ha), te 12. lipnja sa preparatom Lontrel 300 (0,3 l/ha). Žetva kukuruza provedena je 3. listopada 2020.

Slika 11. Kukuruz na pokusnom polju u Šašinovcu tijekom 2020. godine (izvor: L. Brezinščak)

U posljednjoj godini istraživanja zasijana je jara pšenica (sorta Erwin) (slika 12). Zbog nepovoljnih klimatskih prilika jesenski zahvati (oranje i podrivanje) provedeni su 25. veljače 2021., a 18. ožujka zahvati tanjuranja i primjene kombiniranog oruđa. Sjetva je provedena 20. ožujka 2021. sa razmakom između redova 12,5 cm, te normom sjetve 280 kg/ha. Predsjetvena gnojidba provedena je 19. ožujka sa NPK 7-20-30 (500 kg/ha), a prihrana 11. svibnja sa KAN-om 27 % N (150 kg/ha). Zaštita herbicidom Lancelot 450 WG (33 g/ha) provedena je 21. svibnja. Žetva jare pšenice provedena je 15. srpnja 2021.

Slika 12. Jara pšenica na pokusnom polju u Šašinovcu tijekom 2021. godine (izvor: L. Brezinščak)

3.6. Analize meteoroloških prilika

Klimatske značajke područja (oborine, temperatura zraka, relativna vlaga zraka, brzina vjetra, insolacija i evapotranspiracija) snažno utječu na poljoprivrednu proizvodnju. Iako, svaki od prethodno navedenih sudjeluje u rastu i razvoju biljaka, voda i temperatura zraka imaju ključnu ulogu (Romić i Marušić, 2005). S obzirom na usku povezanost vode u sustavu tlo-biljka-atmosfera, važno je sakupiti relevantne podatke o količini oborina. Stoga su podaci vezani za oborine i temperaturu zraka prikupljeni sa meteorološke postaje na Pokušalištu Šašinovec. Za interpretaciju klime koristili su se podaci referentnog 30-godišnjeg razdoblja (1960 – 1990) zatraženi od DHMZ-a za meteorološku postaju Zagreb-Maksimir. U sklopu analize klime na osnovi srednjih mjesečnih temperatura i oborina izrađena je bilanca vode u tlu za svaku godinu istraživanja po metodi Thornthwaite-a (Šimunić, 2013; Penzar i Penzar, 2000). Karakterizacija klimatskih prilika određena je prema Langovom godišnjem kišnom faktoru (Lang, 1915) (tablica 7), a humidnost prema mjesečnom kišnom faktoru po Gračaninu (Gračanin, 1950) (tablica 8).

Tablica 7. Langov godišnji kišni faktor

Kfg	Oznaka klime i područja
0 – 20	aridna - pustinje
20 – 40	aridna - polupustinje
40 – 60	humidna - stepe, savane
60 – 100	humidna - slabe šume
100 – 160	humidna - visoke šume
> 160	perhumidna - pustare, tundre

Kfg – godišnji klimatski faktor, po Langu

Tablica 8. Humidnost klime prema Gračaninu

Kfm	Oznaka
< 1.6	peraridna
1,7 – 3,3	aridna
3,4 – 5,0	semiardina
5,1 – 6,6	semihumidna
6,7 – 13,3	humidna
> 13,3	perhumidna

Kfm – mjesečni klimatski faktor, po Gračaninu

3.7. Statistička obrada podataka

Dvofaktorijalni pokus je postavljen u split plot dizajnu, gdje je obrada tla glavni faktor, dok je uporaba malča podfaktor. Istraživanje je provedeno kroz tri godine. Testiran je utjecaj obrade, malča i njihove interakcije na prinos i fizikalna svojstva tla (trenutačna vlaga, volumna gustoća, mehanički otpor tla, stabilnost strukturnih agregata), te sadržaj organske tvari u tlu za svaku godinu istraživanja. Podaci istraživanja fizikalnih svojstava tla, prinosa i organske tvari u tlu kroz sve godine istraživanja statistički su obrađeni metodom analize varijance (ANOVA) prilagođenom za split-plot dizajn pri čemu je korišten statistički program SAS 14.3 (SAS Institute, Cary, NC, SAD), srednje vrijednosti su odijeljene na razini $p < 0,05$ primjenom Fisher testa višestrukih usporedbi (Fisher's Least Significant Difference (LSD) test).

4. REZULTATI

4.1. Klimatske značajke

Klima istraživanog područja je umjereno kontinentalna (Zaninović i sur., 2008). Prema Köppenovoj klasifikaciji klime, koja uvažava bitne odlike srednjeg godišnjeg hoda temperature zraka i oborine, promatrana lokacija pokusa ima Cfwbx" klimu. C je oznaka za umjereno toplu kišnu klimu kakva vlada u velikom dijelu umjerenih širina. Njoj odgovara srednja temperatura zraka najhladnijeg mjeseca viša od -3 ºC i niža od 18 ºC, te srednja mjesečna temperatura viša od 10 ºC tijekom više od četiri mjeseca u godini, sa srednjom temperaturom najtoplijeg mjeseca nižom od 22 ºC (b). U godišnjem hodu oborine javljaju se dva maksimuma (x"). Tijekom godine nema izrazito suhih mjeseci. Mjesec s najmanje oborine je u hladnom dijelu godine (fw). U uvjetima ovakve klime vrlo su dobre mogućnosti uzgoja najvažnijih ratarskih kultura (Penzar i Penzar, 2000).

4.1.1. Meteorološke prilike u 2019. godini

Srednja godišnja temperatura zraka na Pokušalištu Šašinovec za 2019. je iznosila 12,1 °C (tablica 9). Najhladniji mjesec u godini je bio siječanj s prosječnom temperaturom od 0,4 °C, dok je mjesec u kojem je izmjerena najviša temperatura bio lipanj sa 22,8 °C. Za vrijeme aktivnog vegetacijskog perioda (od travnja do listopada) u promatranom razdoblju prosječno je najhladniji mjesec bio travanj (11,7 °C), a lipanj je bio najtopliji (22,8 °C). Uspoređujući srednju godišnju temperaturu zraka u 2019. sa višegodišnjim prosjekom (1961 – 1990), bilježimo zatopljenje za 1,7 °C. Samo u mjesecu svibnju srednja mjesečna temperatura zraka nije bila viša od višegodišnjeg prosjeka.

Na temelju podataka o ukupnim mjesečnim i godišnjim količinama oborina na Pokušalištu Šašinovec utvrđena je suma oborina koja je iznosila 1147,5 mm (tablica 9). Najveća prosječna mjesečna količina oborina iznosila je 206,2 mm (studeni), dok je najmanja prosječna mjesečna količina oborina zabilježena u veljači (38,8 mm). Zabilježeno je povećanje ukupnih godišnjih oborina za 25 %. Promatrajući mjesečne oborine vidljiva su značajna odstupanja u svibnju (148 % više padalina od višegodišnjeg prosjeka), rujnu (+107 %) i studenom (+151 %), te lipnju (50 % manje padalina od višegodišnjeg prosjeka) i kolovozu (42 % manje padalina od višegodišnjeg prosjeka).

Klimatski pokazatelji za 2019. godinu (tablica 9) prema Langovom kišnom faktoru pokazuju da je godina bila humidna. Prema Gračaninovom kišnom faktoru, siječanj, veljača, svibanj, studeni i prosinac imali su perhumidnu klimu, travanj i rujan karakterizira humidna klima, dok

su ožujak, srpanj, kolovoz i listopad semiaridnog obilježja. Lipanj je okarakteriziran kao semihumidan.

Tablica 9. Klimatski pokazatelji za 2019. u usporedbi sa razdobljem 1961.-1990.

Mjeseci	Oborine (mm)		Temperatura (°C)		Kfm		Humidnost	
	2019.	1961.-1990.	2019.	1961.-1990.	2019.	1961.-1990.	2019.	1961.-1990.
Siječanj	41	46,4	0,4	-0,8	102,5	/	ph	/
Veljača	38,8	42,0	3,9	1,8	9,9	23,3	ph	ph
Ožujak	42,5	55,8	8,5	5,9	5,0	9,5	sa	h
Travanj	84,7	63,6	11,7	10,6	7,2	6,0	h	sh
Svibanj	194,5	78,7	13,2	15,3	14,7	5,2	ph	sh
Lipanj	46,8	100,1	22,8	18,5	2,1	5,4	sh	sh
Srpanj	115,5	83,4	21,4	20,1	5,4	4,1	sa	sa
Kolovoz	54,1	94,6	22,7	19,3	2,4	4,9	sa	sa
Rujan	163,4	79,3	16,6	15,8	9,8	5,0	h	sa
Listopad	43,8	69,2	12,4	10,5	3,5	6,6	sa	sh
Studeni	206,2	81,2	8,2	5,3	25,1	15,3	ph	ph
Prosinac	116,2	58,0	3,4	0,9	34,2	64,4	ph	ph
x, Σ, Kfg	1147,5	852,3	12,1	10,4	94,8	82,8	h	h

x – prosječna godišnja temperatura; Σ – suma mjesečnih/godišnjih oborina; Kfm – mjesečni kišni faktor, po Gračaninu; Kfg – godišnji klimatski faktor, po Langu; sa – semiaridna; sh – semihumidna; h – humidna; ph – perhumidna

U tablici 10 navedene su vrijednosti proračuna evapotranspiracije prema metodi Thornthwaitea za 2019. godinu. Navedeni podaci ukazuju da je na razini godine stvarna evapotranspiracija iznosila 629 mm, manjak vode 90 mm, a višak vode 518 mm. Bilanca vode u tlu tijekom godine ukazuje da je nedostatak vode postojao u srpnju i kolovozu, a višak vode u siječnju, veljači, ožujku, travnju, svibnju, studenom i prosincu. Navedena nepovoljna distribucija oborina mogla bi utjecati na prinos soje (Pospišil, 2010).

Tablica 10. Bilanca vode u tlu prema metodi Thornthwaitea za 2019.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	SUMA
R (mm)	41	38,8	42,5	84,7	194,5	46,8	115,5	54,1	163,4	43,8	206,2	116,2	**1147,5**
T (°C)	0,4	3,9	8,5	11,7	13,2	22,8	21,4	22,7	16,6	12,4	8,2	3,4	**12,1**
I	0,0	0,7	2,2	3,6	4,3	9,9	9,0	9,9	6,2	4,0	2,1	0,6	**52,6**
Pet	0,1	1,1	3,0	4,6	5,4	11,1	10,2	11,0	7,3	5,0	2,9	0,9	**62,5**
pet. kor.	0,4	8,9	30,8	51,5	67,9	141,9	131,6	132,3	75,9	47,2	23,3	6,9	**718,6**
REZ	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	4,9	0,0	0,0	87,5	84,2	100,0	100,0	**876,6**
SET	0,4	8,9	30,8	51,5	67,9	141,9	120,4	54,1	75,9	47,2	23,3	6,9	**629,2**
M	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,2	78,2	0,0	0,0	0,0	0,0	**89,4**
V	40,6	29,9	11,7	33,2	126,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	167,1	109,3	**518,3**

R – količina oborina; T – prosječna temperatura; I – toplinski indeks; pet – potencijalna evapotranspiracija; pet. kor. – potencijalna korigirana evapotranspiracija; rez – rezerva vode u tlu; set – stvarna evapotranspiracija; m – manjak vode u tlu; v – višak vode u tlu

4.1.2. Meteorološke prilike u 2020. godini

Srednja godišnja temperatura zraka na Pokušalištu Šašinovec za 2020. je iznosila 12.7 °C (tablica 11). Najhladniji mjesec u godini je bio siječanj s prosječnom temperaturom od -0.2 °C, dok je mjesec u kojem je izmjerena najviša temperatura bio kolovoz sa 22.4 °C. Za vrijeme aktivnog vegetacijskog perioda (od travnja do listopada) u promatranom razdoblju prosječno je najhladniji mjesec bio travanj (11,7 °C), a kolovoz je bio najtopliji (22,4 °C). Uspoređujući srednju godišnju temperaturu zraka u 2020. sa višegodišnjim prosjekom (1961 – 1990), bilježimo zatopljenje za 2.3 °C. Samo u mjesecu studenom srednja mjesečna temperatura zraka nije bila viša od višegodišnjeg prosjeka.

Na temelju podataka o ukupnim mjesečnim i godišnjim količinama oborina na Pokušalištu Šašinovec utvrđena je suma oborina koja je iznosila 953,4 mm, što čini odstupanje od višegodišnjeg prosjeka za 92 mm (tablica 11). Najveća prosječna mjesečna količina oborina iznosila je 195,7 mm (listopad), dok je najmanja prosječna mjesečna količina oborina zabilježena u siječnju (15,8 mm). Promatrajući mjesečne oborine vidljiva su značajna odstupanja u listopadu (182 % više padalina od višegodišnjeg prosjeka). Ukupna količina oborina u periodu vegetacije (travanj – listopad) je iznosila 626 mm ili 65 % od ukupne godišnje količine. Prema Pospišil (2010) navedene količine oborina su dovoljne, te je njihov raspored zadovoljavajući za postizanje optimalnih prinosa ratarskih kultura.

Klimatski pokazatelji za 2020. godinu (tablica 11) prema Langovom kišnom faktoru pokazuju da je godina bila semihumidna. Prema Gračaninovom kišnom faktoru, listopad i prosinca imali su perhumidnu klimu, veljača i studeni karakterizira humidna klima, dok su ožujak, lipanj, srpanj i rujan semihumidnog obilježja. Svibanj i kolovoz su semiaridni, a travanj je okarakteriziran kao peraridan.

Tablica 11. Klimatski pokazatelji za 2020. u usporedbi sa razdobljem 1961.-1990.

Mjeseci	Oborine (mm)		Temperatura (°C)		Kfm, Gračanin		Humidnost	
	2020.	1961.-1990.	2020.	1961.-1990.	2020.	1961.-1990.	2020.	1961.-1990.
Siječanj	15,8	46,4	-0,2	-0,8	/	/	/	/
Veljača	46,9	42,0	6,7	1,8	7,0	23,3	h	ph
Ožujak	42,5	55,8	7,4	5,9	5,7	9,5	sh	h
Travanj	10,3	63,6	11,7	10,6	0,9	6,0	pa	sh
Svibanj	76,2	78,7	15,4	15,3	4,9	5,2	sa	sh
Lipanj	106,8	100,1	19,4	18,5	5,5	5,4	sh	sh
Srpanj	118,0	83,4	21,2	20,1	5,6	4,1	sh	sa
Kolovoz	107,5	94,6	22,4	19,3	4,8	4,9	sa	sa
Rujan	111,7	79,3	16,9	15,8	6,6	5,0	sh	sa
Listopad	195,7	69,2	11,7	10,5	16,7	6,6	ph	sh
Studeni	47,3	81,2	4,3	5,3	11,0	15,3	h	ph
Prosinac	74,7	58,0	3,2	0,9	23,3	64,4	ph	ph
x, Σ, Kfg	953,4	861,3	12,7	10,4	74,8	82,8	sh	h

x – prosječna godišnja temperatura; Σ – suma mjesečnih/godišnjih oborina; Kfm – mjesečni kišni faktor, po Gračaninu; Kfg – godišnji klimatski faktor, po Langu; sa – semiaridna; sh – semihumidna; h – humidna; ph – perhumidna

U tablici 12 navedene su vrijednosti proračuna evapotranspiracije prema metodi Thornthwaitea za 2020. godinu. Navedeni podaci ukazuju da je na razini godine stvarna evapotranspiracija iznosila 703,8 mm, manjak vode nije zabilježen, a višak vode 249,6 mm. Bilanca vode u tlu tijekom godine ukazuje da je višak vode u siječnju, veljači, ožujku, listopadu, studenom i prosincu. Navedeni višak zabilježen je u van vegetacijskom razdoblju, te predstavlja dobru zalihu vode u tlu za kukuruz (siječanj – ožujak).

Tablica 12. Bilanca vode u tlu prema metodi Thornthwaitea za 2020.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	**SUMA**
R (mm)	15,8	46,9	42,5	10,3	76,2	106,8	118	107,5	111,7	195,7	47,3	74,7	**953,4**
T (°C)	-0,2	6,7	7,4	11,7	15,4	19,4	21,2	22,4	16,9	11,7	4,3	3,2	**11,7**
I	0,0	1,6	1,8	3,6	5,5	7,8	8,9	9,7	6,3	3,6	0,8	0,5	**50,1**
pet	0,0	2,3	2,6	4,7	6,7	9,1	10,2	10,9	7,6	4,7	1,3	0,9	**61,1**
pet. kor.	0,0	19,0	26,9	53,1	85,0	116,1	131,1	130,9	79,0	45,1	10,7	6,9	**703,8**
R	100,0	100,0	100,0	57,2	48,4	39,1	26,0	2,6	35,3	100,0	100,0	100,0	**808,5**
SE	0,0	19,0	26,9	53,1	85,0	116,1	131,1	130,9	79,0	45,1	10,7	6,9	**703,8**
M	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**0,0**
V	15,8	27,9	15,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	85,9	36,6	67,8	**249,6**

R – količina oborina; T – prosječna temperatura; I – toplinski indeks; pet – potencijalna evapotranspiracija; pet. kor. – potencijalna korigirana evapotranspiracija; rez – rezerva vode u tlu; set – stvarna evapotranspiracija; m – manjak vode u tlu; v – višak vode u tlu

4.1.3. Meteorološke prilike u 2021. godini

Srednja godišnja temperatura zraka na Pokušalištu Šašinovec za 2021. je iznosila 12,4 °C (tablica 13). Najhladniji mjesec u godini je bio siječanj s prosječnom temperaturom od 1,1 °C, dok je mjesec u kojem je izmjerena najviša temperatura bio srpanj sa 24 °C. Za vrijeme aktivnog vegetacijskog perioda (od veljače do srpnja) u promatranom razdoblju prosječno je najhladniji mjesec bio veljača (4,2 °C), a srpanj je bio najtopliji (24 °C). Uspoređujući srednju godišnju temperaturu zraka u 2021. sa višegodišnjim prosjekom (1961 – 1990), bilježimo zatopljenje za 2 °C. Samo u travnju i svibnju srednja mjesečna temperatura zraka nije bila viša od višegodišnjeg prosjeka.

Na temelju podataka o ukupnim mjesečnim količinama oborina na Pokušalištu Šašinovec utvrđena je suma od 766,1 mm, što čini odstupanje od višegodišnjeg prosjeka za 95 mm (tablica 13). Najveća mjesečna količina oborina iznosila je 95,7 mm (listopad), dok je najmanja mjesečna količina oborina zabilježena u siječnju (40 mm). Promatrajući mjesečne oborine vidljiva su značajna odstupanja u lipnju, kada je zabilježeno svega 13 % oborina u odnosu na višegodišnji prosjek. Ukupna količina oborina u periodu vegetacije (veljača – srpanj) je iznosila 356 mm ili 46 % od ukupne godišnje količine. Unatoč činjenici da je tijekom vegetacije u 2021. godini palo dovoljno oborina za nesmetan uzgoj pšenice (Bocianowski i Majchrzak, 2019.), njihov raspored nije bio ravnomjeran. Višak oborina u svibnju pozitivno je utjecao na vlatanje i klasanje, dok je u srpnju zabilježen negativan utjecaj nedovoljnih oborina u fazi nalijevanja zrna.

Klimatski pokazatelji za 2021. godinu (tablica 13) prema Langovom kišnom faktoru pokazuju da je godina bila semihumidna. Prema Gračaninovom kišnom faktoru, siječanj i prosinac imali su perhumidnu klimu, veljača, travanj, svibanj, listopad i studeni karakterizira humidna klima, dok je ožujak bio semihumidnog obilježja. Srpanj, kolovoz i rujan su semiaridni, a lipanj je okarakteriziran kao peraridan.

Tablica 13. Klimatski pokazatelji za 2021. u usporedbi sa razdobljem 1961.-1990.

Mjeseci	Oborine (mm)		Temperatura (°C)		Kfm, Gračanin		Humidnost	
	2021.	1961.-1990.	2021.	1961.-1990.	2021.	1961.-1990.	2021.	1961.-1990.
Siječanj	40	46,4	1,1	-0,8	36,4	/	ph	/
Veljača	41,4	42,0	4,2	1,8	9,9	23,3	h	ph
Ožujak	36,1	55,8	6,8	5,9	5,3	9,5	sh	h
Travanj	68,7	63,6	9,8	10,6	7,0	6,0	h	sh
Svibanj	124	78,7	14,7	15,3	8,4	5,2	h	sh
Lipanj	13,2	100,1	23,3	18,5	0,6	5,4	pa	sh
Srpanj	74,5	83,4	24,0	20,1	3,1	4,1	a	sa
Kolovoz	62,7	94,6	21,4	19,3	2,9	4,9	a	sa
Rujan	56,1	79,3	18,1	15,8	3,1	5,0	a	sa
Listopad	95,7	69,2	12,3	10,5	7,8	6,6	h	sh
Studeni	79,5	81,2	8,7	5,3	9,1	15,3	h	ph
Prosinac	74,2	58,0	4,1	0,9	18,1	64,4	ph	ph
x, Σ, Kfg	766,1	861,3	12,4	10,4	61,8	82,8	sh	h

x – prosječna godišnja temperatura; Σ – suma mjesečnih/godišnjih oborina; Kfm – mjesečni kišni faktor, po Gračaninu; Kfg – godišnji klimatski faktor, po Langu; a – aridna; pa – peraridna; sa – semiaridna; sh – semihumidna; h – humidna; ph – perhumidna

U tablici 14 navedene su vrijednosti proračuna evapotranspiracije prema metodi Thornthwaitea za 2021. godinu. Navedeni podaci ukazuju da je na razini godine stvarna evapotranspiracija iznosila 534,4 mm, manjak vode iznosi 197,3 mm, a višak vode 231,7 mm. Bilanca vode u tlu tijekom godine ukazuje da je zabilježen višak vode u siječnju, veljači, ožujku, travnju, studenom i prosincu, a manjak u lipnju, srpnju, kolovozu i rujnu.

Tablica 14. Bilanca vode u tlu prema metodi Thornthwaitea za 2021.

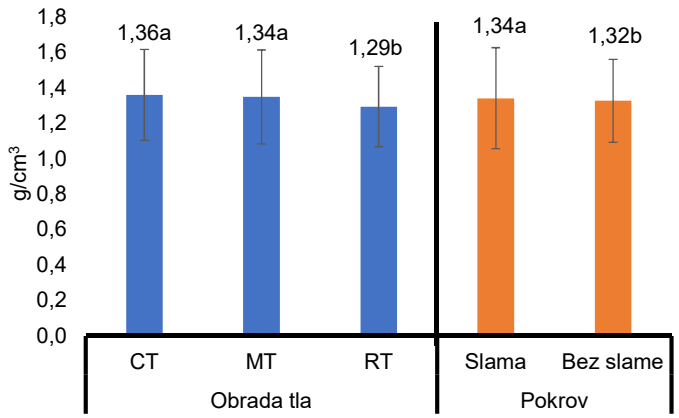
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	**SUMA**
R (mm)	40	41,4	36,1	68,7	124	13,2	74,5	62,7	56,1	95,7	79,5	74,2	**766,1**
T (°C)	1,1	4,2	6,8	9,8	14,7	23,3	24	21,4	18,1	12,3	8,7	4,1	**12,4**
I	0,1	0,8	1,6	2,8	5,1	10,3	10,7	9,0	7,0	3,9	2,3	0,7	**54,4**
pet	0,2	1,1	2,2	3,5	6,1	11,4	11,8	10,1	8,1	4,8	3,0	1,1	**63,4**
pet. kor.	1,5	9,3	22,1	39,6	77,0	145,5	152,6	121,6	84,1	45,6	24,4	8,4	**731,7**
100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,1	100,0	100,0	**750,1**
SET	1,5	9,3	22,1	39,6	77,0	113,2	74,5	62,7	56,1	45,6	24,4	8,4	**534,4**
M	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,3	78,1	58,9	28,0	0,0	0,0	0,0	**197,3**
V	38,5	32,1	14,0	29,1	47,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,1	65,8	**231,7**

R – količina oborina; T – prosječna temperatura; I – toplinski indeks; pet – potencijalna evapotranspiracija; pet. kor. – potencijalna korigirana evapotranspiracija; rez – rezerva vode u tlu; set – stvarna evapotranspiracija; m – manjak vode u tlu; v – višak vode u tlu

4.2. Fizikalna svojstva tla u 2019. godini

4.2.1. Volumna gustoća tla u 2019. godini

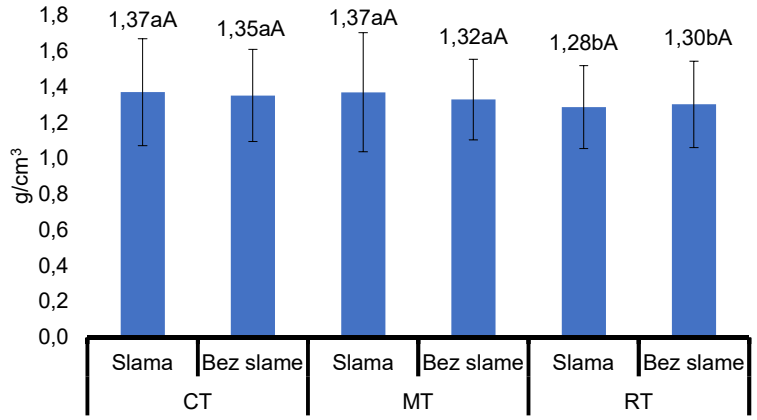
Prosječna volumna gustoća tla (ρ_v) pri svim dubinama i za sve sustave obrade tla je iznosila 1,33 g/cm^3. Pri tome je volumna gustoća tla vrlo malo varirala između pojedinih sustava obrade tla, ali značajno veće vrijednosti prema jednofaktorijalnoj analizi su zabilježene na CT (1,36 g/cm^3) i MT (1,34 g/cm^3) tretmanima u odnosu na RT (1,29 g/cm^3). Primjena slame (1,34 g/cm^3) nije značajno utjecala na povećanje volumne gustoće u odnosu na parcele bez slame (1,32 g/cm^3) (grafikon 1).



CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike ($p < 0,05$)

Grafikon 1. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na volumnu gustoću tla u 2019. godini

Interakcija Obrada × Pokrov bilježi značajan utjecaj na volumnu gustoću tla ($p < 0,05$). Najmanja vrijednost ρ_v utvrđena je na RT tretmanu sa slamom (1,28 g/cm^3), a najveća ρ_v na CT i MT tretmanu sa slamom (1,37 g/cm^3) (grafikon 2). Promatrajući obradu tla na malčiranim parcelama značajno niže vrijednosti zabilježene su na RT (1,28 g/cm^3) u odnosu na ostale tretmane (MT – 1,37 g/cm^3; CT – 1,37 g/cm^3). Na parcelama bez slame značajno niže vrijednosti zabilježene su na RT (1,30 g/cm^3) u odnosu na ostale tretmane (MT – 1,32 g/cm^3; CT – 1,35 g/cm^3).



CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

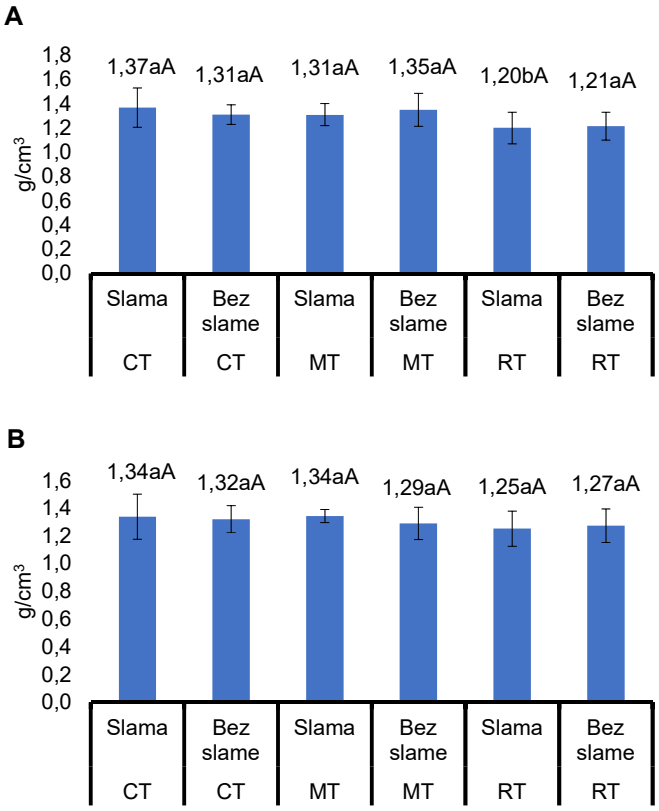
Grafikon 2. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na volumnu gustoću u 2019. godini

Promjene ρ_v prema dubini i vremenu uzorkovanja pokazuju značajne razlike samo u proljetnom uzorkovanju na dubini od 0 – 10 cm. U proljetnom uzorkovanju na dubini od 10 – 20 cm, te na obje dubine u jesenskom uzorkovanju nije bilo značajnih razlika.

U proljetnom uzorkovanju na dubini 0 – 10 cm najveća izmjerena vrijednost ρ_v zabilježena je na CT SL (1,37 g/cm³), a najmanja na RT SL (1,20 g/cm³) (grafikon 3). Ukoliko uspoređujemo utjecaj pokrova unutar tretmana obrade, na parcelama bez pokrova povećala se vrijednost ρ_v kod MT (MT – 1,35 g/cm³ > MT SL – 1,31 g/cm³) i RT (RT – 1,21 g/cm³ > RT SL – 1,20 g/cm³) tretmana, a smanjila kod CT (CT – 1,31 g/cm³ < CT SL – 1,37 g/cm³). Promatrajući utjecaj obrade na malčiranim parcelama, zabilježeno je značajno smanjenje ρ_v na RT tretmanu u odnosu na MT i CT tretmane. Na parcelama bez slame, vrijednosti ρ_v su se smanjivale prema sljedećem redoslijedu: MT<CT<RT.

Na dubini 10 – 20 cm u proljetnom uzorkovanju najveća izmjerena vrijednost ρ_v zabilježena je na CT SL = MT SL (1,34 g/cm³), a najmanja na RT SL (1,25 g/cm³). Ukoliko uspoređujemo utjecaj pokrova unutar tretmana obrade, na parcelama sa slamom relativno se povećala vrijednost ρ_v kod CT (CT – 1,32 g/cm³ < CT SL – 1,34 g/cm³), MT (MT – 1,29 g/cm³ < MT SL – 1,34 g/cm³). Relativno smanjenje zabilježeno je kod RT (RT – 1,27 g/cm³ < RT SL – 1,25 g/cm³) tretmana. Promatrajući utjecaj obrade na malčiranim parcelama, zabilježeno je

smanjenje ρ_v prema sljedećem redoslijedu: MT=CT>RT. Na parcelama bez slame, vrijednosti ρ_v su se smanjivale prema sljedećem redoslijedu: CT>MT>RT.



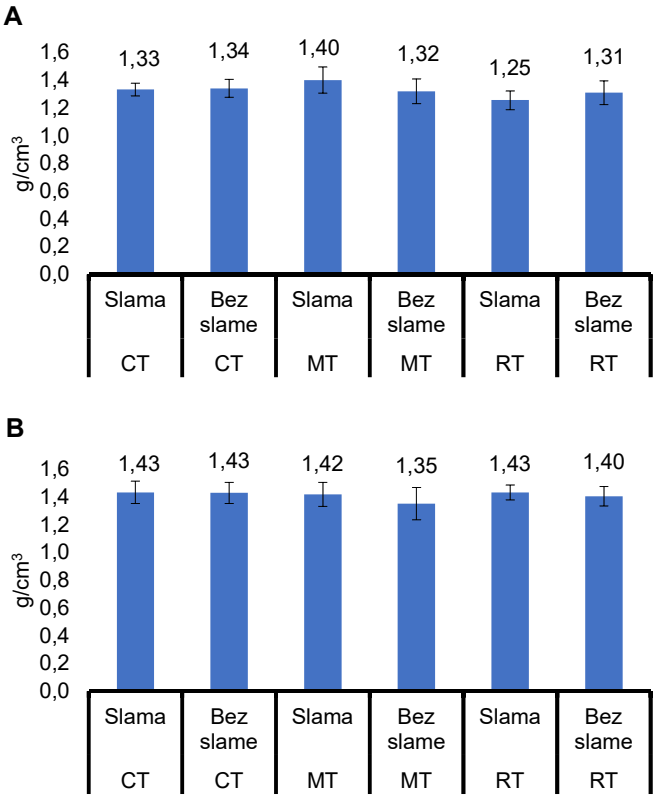
CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 3. Utjecaj obrade tla i pokrova na ρ_v u proljetnom uzorkovanju (2019.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B)

U jesenskom uzorkovanju na dubini 0 – 10 cm najveća izmjerena vrijednost ρ_v zabilježena je na MT SL (1,40 g/cm^3), a najmanja na RT SL (1,25 g/cm^3) (grafikon 4). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, slama je smanjila ρ_v kod CT (CT – 1,34 g/cm^3 < CT SL – 1,33 g/cm^3) i RT (RT – 1,31 g/cm^3 < RT SL – 1,25 g/cm^3), a povećala kod MT (MT – 1,32 g/cm^3 < MT SL

– 1,40 g/cm^3). Prema obradi, na mačiranim parcelama, vrijednosti ρ_v su se smanjivale prema sljedećem redoslijedu: MT>CT>RT, a na parcelama bez slame u redoslijedu: CT>MT>RT.

Na dubini 10 – 20 cm u jesenskom uzorkovanju najveća izmjerena vrijednost ρ_v zabilježena je na CT SL (1,44 g/cm^3), a najmanja na MT (1,35 g/cm3). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, malčiranje slamom je povećala ρ_v kod MT (MT – 1,35 g/cm^3 < MT SL – 1,42 g/cm^3) i RT (RT SL – 1,43 g/cm^3 > RT – 1,40 g/cm^3), dok kod CT nije bilo razlike (CT = CT SL – 1,43 g/cm^3). Promatrajući utjecaj obrade na malčiranim parcelama, vrijednosti ρ_v su se smanjivale prema sljedećem redoslijedu: CT>MT>RT, a na parcelama bez slame: CT>RT>M.

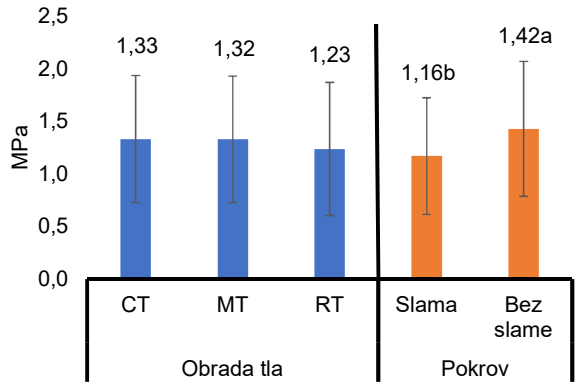


CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 4. Utjecaj obrade tla i pokrova na ρ_v u jesenskom uzorkovanju (2019.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B)

4.2.2. Mehanički otpor tla u 2019. godini

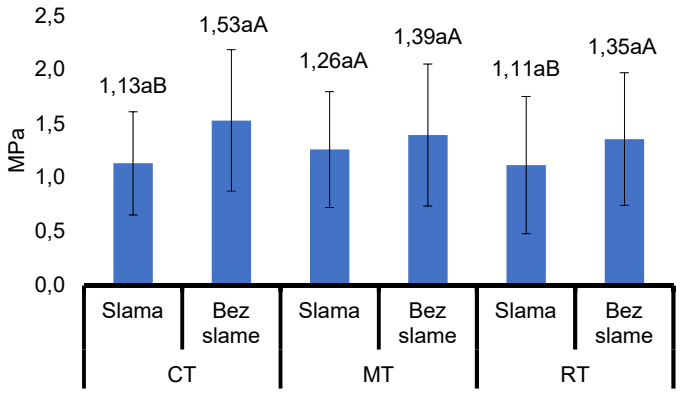
Prosječni godišnji mehanički otpor tla (PR) (0 – 20 cm) je iznosio 1,29 MPa, dok se prema vrijednost koeficijenta varijabilnosti MOP smatra umjereno varijabilnim (USDA, 2017). Prema pojedinačnom utjecaju obrade tla *Post-hoc* test nije zabilježio značajne razlike, te su njihove vrijednosti kako slijedi CT (1,33 MPa) > MT (1,32 MPa) > RT (1,23 MPa). Pojedinačni faktor pokrova zabilježio značajno manji MOP sa slamom (1,16 MPa) nego bez slame (1,42 MPa) (grafikon 5).



CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike ($p < 0,05$)

Grafikon 5. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na mehanički otpor tla u 2019. godini

Interakcija Obrada × Pokrov bilježi značajan utjecaj na MOP ($p < 0,05$). Najmanja vrijednost MOP utvrđena je na CT tretmanu sa slamom (1,13 MPa), a najveća na CT tretmanu (1,53 MPa). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar svakog pojedinog glavnog tretmana, vidljivo je smanjenje MOP pod slamom u odnosu na tretmane bez slame. Značajno smanjenje MOP zabilježeno je kod CT (CT – 1,53 MPa > CT SL – 1,13 MPa) i RT (RT – 1,35 MPa > RT SL – 1,11 MPa) tretmana, dok je kod MT zabilježeno relativno smanjenje (MT – 1,39 MPa > MT SL – 1,26 MPa) (grafikon 6).



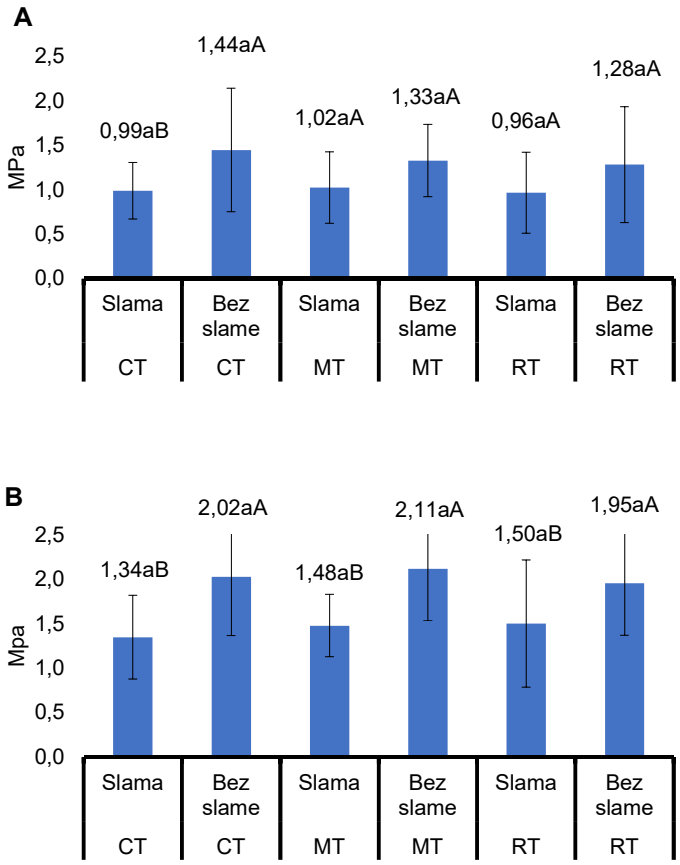
CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 6. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na mehanički otpor tla u 2019. godini

Promjene MOP prema dubini i vremenu uzorkovanja pokazuju značajne razlike samo u proljetnom uzorkovanju na dubini od 0 – 10 cm i 10 – 20 cm. U jesenskom uzorkovanju na obje dubine nije bilo značajnih razlika.

U proljetnom uzorkovanju na dubini 0 – 10 cm zabilježeno je značajno smanjenje MOP na CT tretmanu primjenom slame (CT SL – 0,99 MPa < CT – 1,44 MPa) (grafikon 7). Na ostalim tretmanima nije bilo značajnih razlika, nego samo relativna smanjenja MOP primjenom slame (MT – 1,33 MPa > MT SL – 1,02 MPa; RT – 1,28 MPa > RT SL – 0,96 MPa).

Na dubini 10 – 20 cm u proljetnom uzorkovanju zabilježeno je značajno smanjenje MOP na svim tretmanima pod slamom (CT – 2,02 MPa > CT SL - 1,34 MPa; MT – 2,11 MPa > MT SL – 1,48 MPa; RT – 1,95 MPa > RT SL – 1,50 MPa).

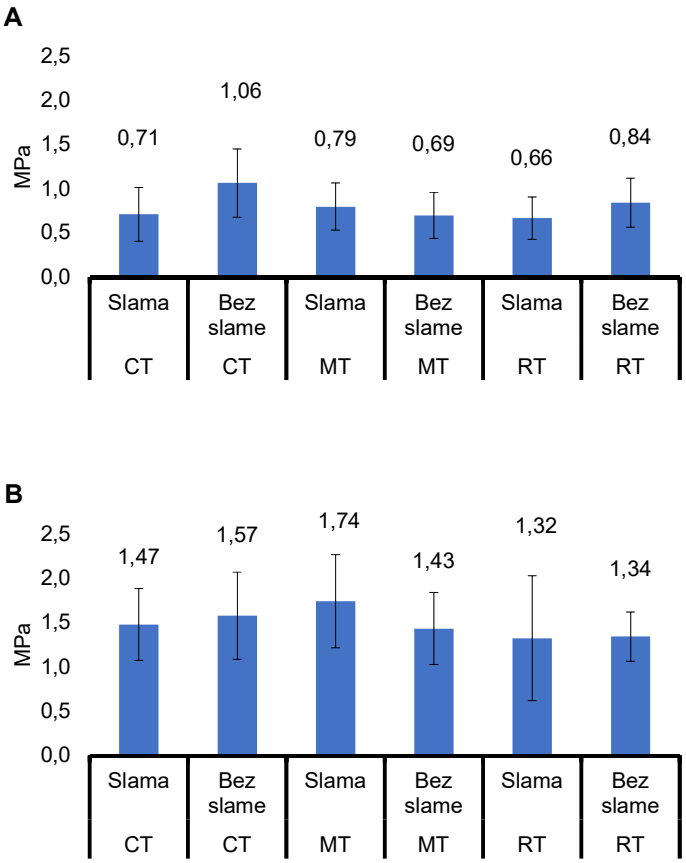


CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 7. Utjecaj obrade tla i pokrova na MOP u proljetnom uzorkovanju (2019.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B)

U jesenskom uzorkovanju na dubini 0 – 10 cm najveća izmjerena vrijednost MOP zabilježena je na MT SL (1,06 MPa), a najmanja na RT SL (0,66 MPa) (grafikon 8). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, slama je relativno smanjila MOP kod CT (CT – 1,06 MPa > CT SL – 0,71 MPa) i RT (RT – 0,84 MPa > RT SL – 0,66 MPa), a povećala kod MT (MT – 0,69 MPa < MT SL – 0,79 MPa).

Na dubini 10 – 20 cm u jesenskom uzorkovanju najveća izmjerena vrijednost MOP zabilježena je na MT SL (1,74 MPa), a najmanja na RT SL (1,32 MPa). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, primjena slame je relativno povećala MOP kod MT (MT – 1,43 MPa < MT SL – 1,74 MPa), te smanjila kod RT (RT SL – 1,32 MPa < RT – 1,34 MPa) i CT (CT SL – 1,47 MPa < CT – 1,57 MPa).

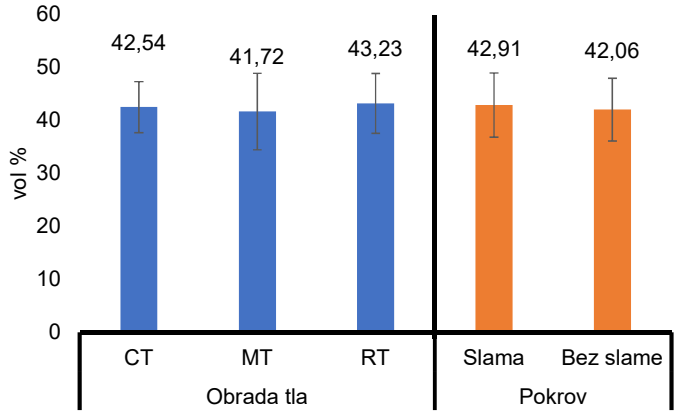


CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 8. Utjecaj obrade tla i pokrova na MOP u jesenskom uzorkovanju (2019.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B)

4.2.3. Retencijski kapacitet tla za vodu u 2019. godini

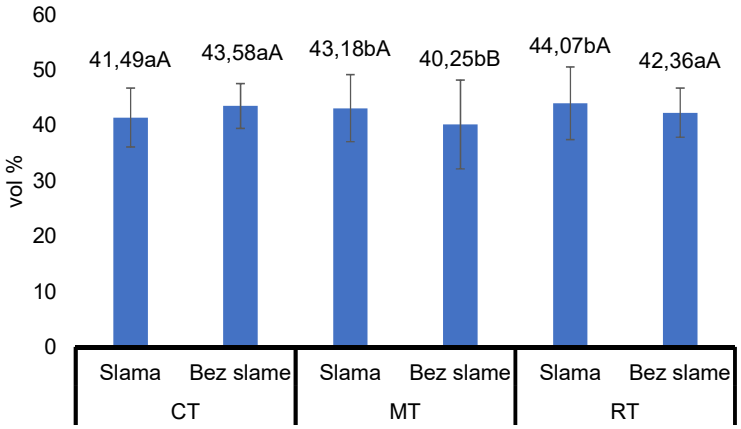
Prosječni godišnji RKV je iznosio 42,49 vol %, dok je vrijednost koeficijenta varijabilnosti iznosila 14,05 %. Prema Škorić (1991) navedena prosječna vrijednost klasificira tlo sa srednjim kapacitetom za vodu. Na grafikonu 10 zabilježen je značajan utjecaj interakcije obrade tla i pokrova, dok za pojedinačne faktore obradu tla i pokrov nije bilo značajnog utjecaja (grafikon 9). Prema pojedinačnom utjecaju obrade tla njihove su vrijednosti kako slijedi RT (43,23 vol %) > CT (42,54 vol %) > MT (41,72 vol %). Pojedinačni faktor pokrova zabilježio je veći RKV bez slame (42,91 vol %) nego sa slamom (42,09 vol %).



CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike ($p < 0,05$)

Grafikon 9. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na kapacitet tla za vodu u 2019. godini

Interakcija Obrada × Pokrov bilježi značajan utjecaj na RKV ($p < 0,05$). Najmanja vrijednost RKV utvrđena je na MT tretmanu bez slame (40,25 vol %), a najveća na CT tretmanu bez slame (43,58 vol %). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar svakog pojedinog glavnog tretmana značajno smanjenje RKV zabilježeno je kod MT (MT – 40,25 vol % < MT SL – 43,18 vol %), dok je kod CT tretmana zabilježeno relativno smanjenje pod slamom (CT – 43,85 vol % > CT SL – 41,49 vol %) (grafikon 10). RT tretman bilježi relativno povećanje pod slamom (RT – 42,36 vol % < RT SL – 44,07 vol %). Promatrajući utjecaj obrade pod malčem MT i RT tretmani ostvarili su značajno veće RKV vrijednosti u odnosu na CT tretman. Na tlu bez pokrova MT tretman zabilježio je značajno manje RKV vrijednosti u odnosu na CT i RT.



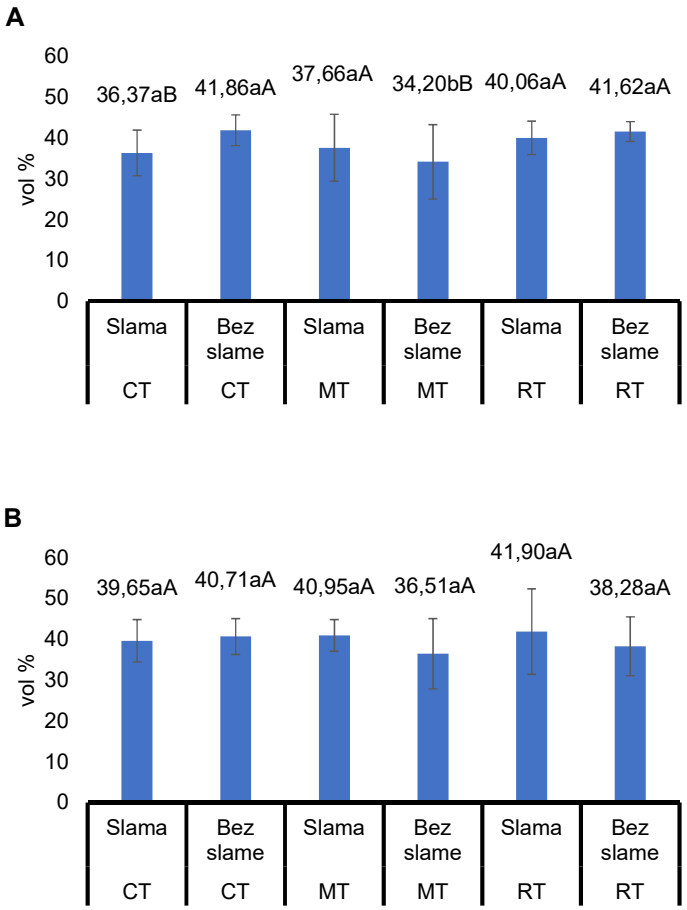
CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 10. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na kapacitet tla za vodu u 2019. godini

Promjene RKV prema dubini i vremenu uzorkovanja pokazuju značajne razlike samo u proljetnom uzorkovanju na dubini od 0 – 10 cm, dok u proljetnom uzorkovanju na dubini 0 – 20 cm i obje dubine u jesenskom uzorkovanju nije bilo značajnih razlika.

U proljetnom uzorkovanju na dubini 0 – 10 cm zabilježeno je značajno smanjenje RKV na CT tretmanu primjenom slame (CT SL – 36,37 vol % < CT – 41,86 vol %), dok je na MT tretmanu primjena slame značajno povećala RKV (MT SL – 37,66 vol % > MT – 34,2 vol %) (grafikon 11). Na preostalom tretmanu nije bilo značajne razlike, nego samo relativno smanjenje MOP primjenom slame (RT – 41,62 vol % > RT SL – 40,06 vol %).

Na dubini 10 – 20 cm u proljetnom uzorkovanju zabilježeno je relativno smanjenje RKV na CT tretmanu pod slamom (CT – 40,71 vol % > CT SL – 39,65 vol %), dok je kod MT i RT tretmana zabilježeno relativno povećanje RKV pod slamom (MT SL – 40,95 vol % > MT – 36,51 vol %; RT SL – 41,9 vol % > RT – 38,28 vol %).



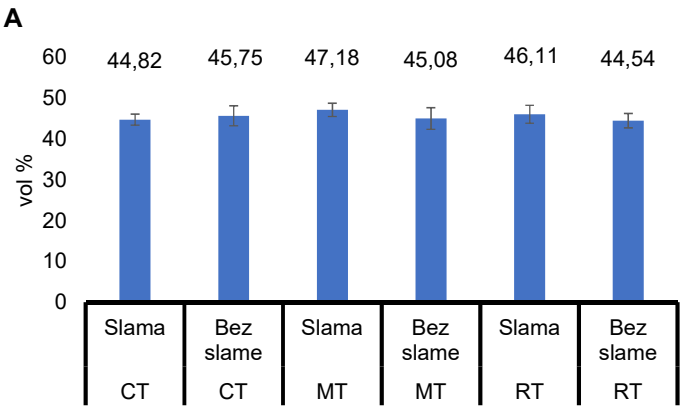
CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

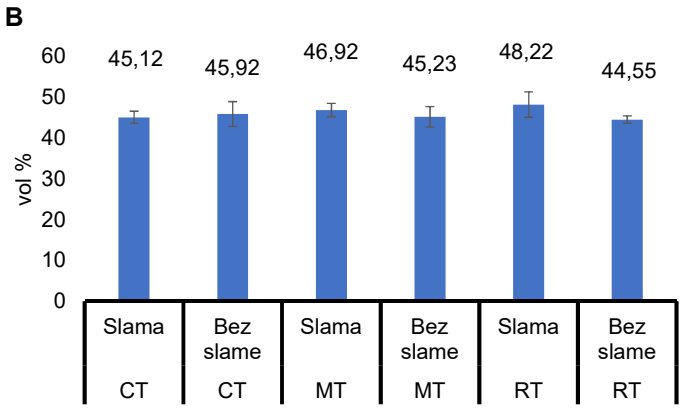
Grafikon 11. Utjecaj obrade tla i pokrova na RKV u proljetnom uzorkovanju (2019.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B)

U jesenskom uzorkovanju na dubini 0 – 10 cm najveća izmjerena vrijednost RKV zabilježena je na MT SL (47,18 vol %), a najmanja na RT (44,54 vol %) (grafikon 12). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, slama je relativno smanjila RKV kod CT (CT – 45,75 vol % > CT SL – 44,82 vol %) a povećala kod MT (MT – 45,08 vol % < MT SL – 47,18 vol %) i RT (RT – 44,54

vol % > RT SL – 46,11 vol %). Promatrajući obradu prema pokrovu, sa slamom je redoslijed vrijednosti RKV: MT>CT>RT, a bez slame: CT>MT>RT.

Na dubini 10 – 20 cm u jesenskom uzorkovanju najveća izmjerena vrijednost RKV zabilježena je na RT SL (48,22 vol %), a najmanja na RT (44,55 vol %). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, primjena slame je relativno povećala RKV kod MT (MT – 45,23 vol % < MT SL – 46,92 vol %) i RT (RT SL – 48,22 vol % > RT – 44,55 vol %), te smanjila kod CT (CT SL – 45,12 vol % < CT – 45,92 vol %). Promatrajući obradu prema pokrovu, sa slamom je redoslijed: RT>MT>CT, a bez slame: CT>MT>RT.



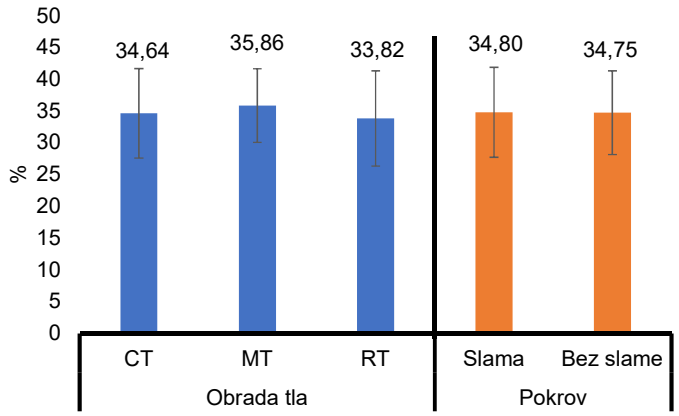


CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 12. Utjecaj obrade tla i pokrova na RKV u jesenskom uzorkovanju (2019.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B)

4.2.4. Trenutačna vlažnost tla u 2019. godini

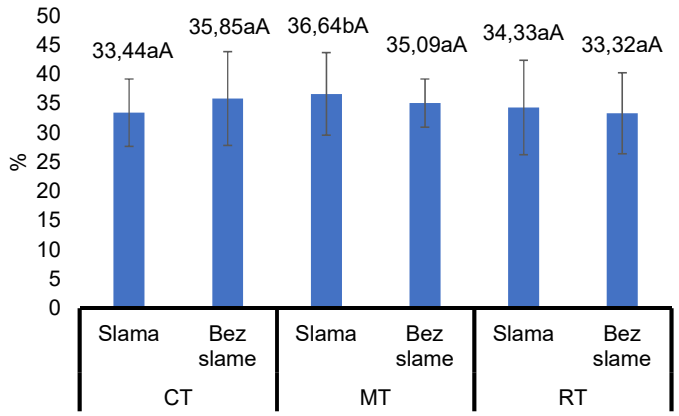
Prosječna godišnja vrijednost TV je iznosila 34,78 %, dok je njezina vrijednost koeficijenta varijabilnosti iznosila 19,6 %. Na grafikonu 14 vidljiv je značajan utjecaj interakcije obrade tla i pokrova, dok pojedinačni faktori nisu značajno utjecali na TV. Vrijednosti TV sljede redoslijed: MT (35,86 %) > CT (34,64 %) > RT (33,82 %) (grafikon 13). Pojedinačni faktor pokrova zabilježio je manji TV bez slame (34,75 %) nego sa slamom (34,80 %) (grafikon 13).



CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike ($p < 0,05$)

Grafikon 13. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na trenutačnu vlažnost tla u 2019. godini

Interakcija Obrada × Pokrov bilježi značajan utjecaj na TV ($p < 0,05$). Najmanja vrijednost TV utvrđena je na RT tretmanu bez slame (33,32 %), a najveća na MT SL (36,64 %). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar svakog pojedinog glavnog tretmana zabilježeno je relativno povećanje TV pod slamom kod MT (MT – 35,09 % < MT SL – 36,64 %) i RT (RT – 33,32 % < RT SL – 34,33 %) tretmana, dok je kod CT tretmana zabilježeno relativno smanjenje pod slamom (CT – 35,85 % > CT SL – 33,44 %) (grafikon 14). Promatrajući utjecaj obrade pod malčem, zabilježene su značajno veće vrijednosti na MT tretmanu u odnosu na RT i CT tretman. Na tlu bez pokrova, nisu zabilježene značajne razlike, a vrijednosti sljede niz: CT>RT>MT.



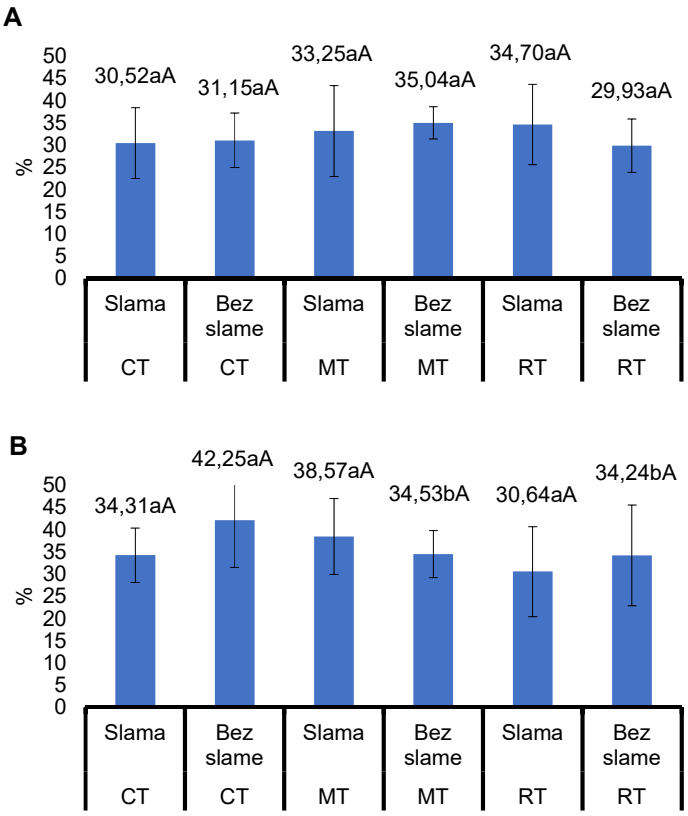
CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 14. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na trenutačnu vlažnost tla u 2019. godini

Promjene TV prema dubini i vremenu uzorkovanja pokazuju značajne razlike samo u proljetnom uzorkovanju na dubini od 10 – 20 cm. U proljetnom uzorkovanju na dubini 0 – 10 cm i na obje dubine u jesenskom uzorkovanju nije bilo značajnih razlika.

U proljetnom uzorkovanju na dubini 0 – 10 cm zabilježeno je relativno smanjenje TV na CT (CT SL – 30,52 % < CT – 31,15 %) primjenom slame, dok je na MT (MT SL – 33,25 % < MT – 35,04 %) RT (RT – 29,93 % < RT SL – 34,70 %) tretmanu primjena slame povećala TV (grafikon 15). Prema obradi, na parcelama sa slamom redoslijed TV je sljedeći: RT>MT>CT. Dok je na parcelama bez pokrova redoslijed TV u nizu: MT>CT>RT.

Na dubini 10 – 20 cm u proljetnom uzorkovanju zabilježeno je relativno smanjenje TV na CT (CT – 42,25 % > CT SL 34,31 %) i RT (RT – 34,24 % > RT SL – 30,64 %) tretmanu pod slamom, dok je kod MT relativno povećanje TV pod slamom (MT SL – 38,57% > MT – 34,53 %). Promatrajući obradu, značajno smanjenje TV zabilježeno je na parcelama bez pokrova, kod MT i RT tretmana u odnosu na CT tretman. Na parcelama sa slamom nije bilo značajnih razlika, a zabilježene vrijednosti sljede: MT>CT>RT.

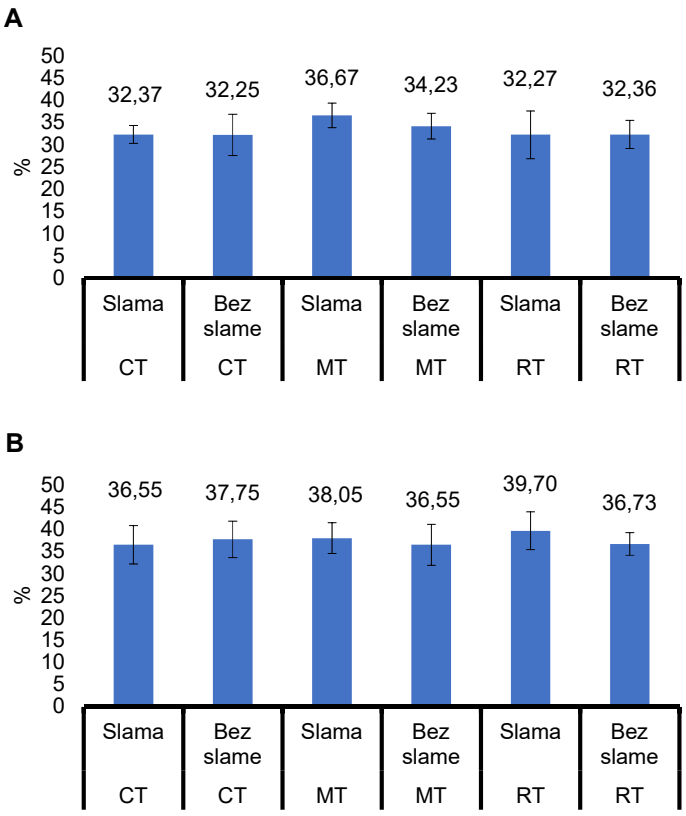


CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 15. Utjecaj obrade tla i pokrova na TV u proljetnom uzorkovanju (2019.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B)

U jesenskom uzorkovanju na dubini 0 – 10 cm najveća izmjerena vrijednost TV zabilježena je na MT SL (36,67 %), a najmanja na CT (32,25 %) (grafikon 16). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, slama je relativno povećala TV kod MT (MT – 34,23 % < MT SL – 36,67 %), dok su kod RT (RT – 32,36 % > RT SL – 32,27 %) i CT (CT – 32,25 % < CT SL – 32,37 %) razlike zanemarive. Promatrajući obradu prema pokrovu, sa slamom je redoslijed TV vrijednosti sljedeći: MT>RT>CT, a bez slame: MT>RT>CT.

Na dubini 10 – 20 cm u jesenskom uzorkovanju najveća izmjerena vrijednost TV zabilježena je na RT SL (39,70 %), a najmanja na MT (36,55 %). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, primjena slame je relativno povećala TV kod MT (MT – 36,55 % < MT SL – 38,05 %) i RT (RT SL – 39,70 % > RT – 36,73 %), te smanjila kod CT (CT – 37,75 % > CT SL– 36,55 %). Promatrajući obradu prema pokrovu, sa slamom je redoslijed: RT>MT>CT, a bez slame: CT>RT>MT.

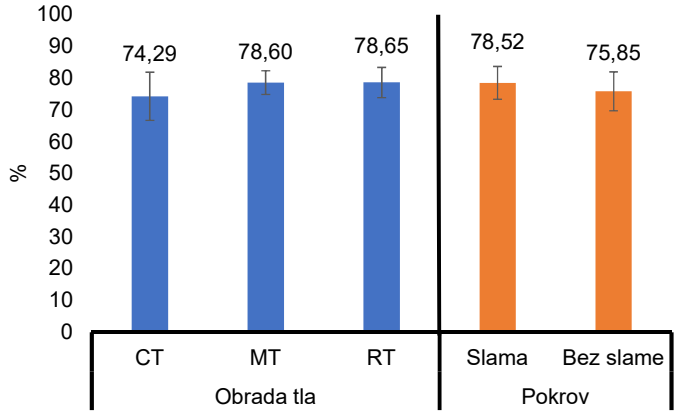


CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 16. Utjecaj obrade tla i pokrova na TV u jesenskom uzorkovanju (2019.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B)

4.2.5. Stabilnost strukturnih agregata u 2019. godini

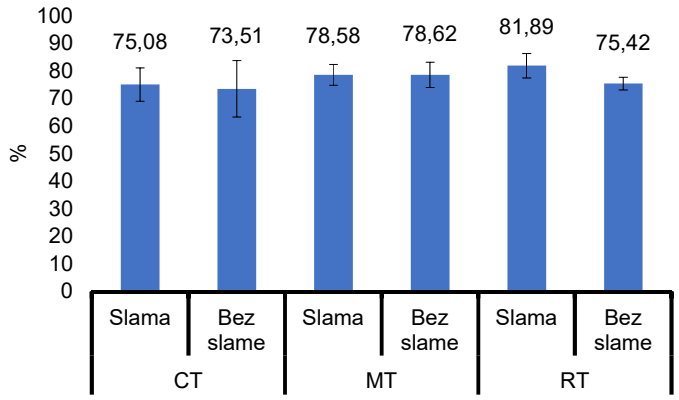
Prosječna godišnja vrijednost SSA je iznosila 77,18 %, dok je vrijednost koeficijenta varijabilnosti iznosila 7,32 %. Prema pojedinačnom utjecaju obrade tla vrijednosti SSA su sljedeće: RT (78,65 %) > MT (78,60 %) > CT (74,29 %) (grafikon 17). Pojedinačni faktor pokrova zabilježio je manji SSA bez slame (75,85 %) nego sa slamom (78,52 %).



CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike ($p < 0,05$)

Grafikon 17. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na stabilnost strukturnih agregata u 2019. godini

Interakcija Obrada × Pokrov ne bilježi značajan utjecaj na SSA. Najmanja vrijednost SSA utvrđena je na CT tretmanu bez slame (73,51 %), a najveća na RT SL (81,89 %). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar svakog pojedinog glavnog tretmana zabilježeno je relativno povećanje SSA pod slamom kod CT (CT – 73,51 % < CT SL – 75,08 %) i RT (RT – 75,42 % < RT SL – 81,89 %) tretmana, dok je kod MT tretmana zabilježeno relativno smanjenje pod slamom (MT – 78,62 % > MT SL – 78,58 %) (grafikon 18). Promatrajući utjecaj obrade pod malčem, zabilježene su vrijednosti u sljedećem redoslijedu: RT>MT>CT. Na tlu bez pokrova, zabilježene vrijednosti SSA sljede: MT>RT>CT.

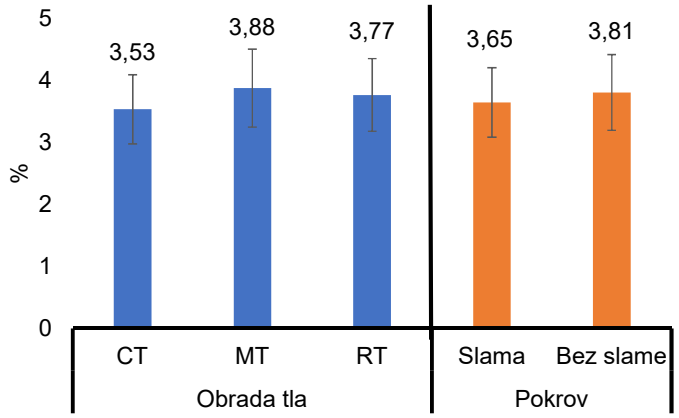


CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 18. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na stabilnost strukturnih agregata u 2019. godini

4.2.6. Organska tvar u tlu u 2019. godini

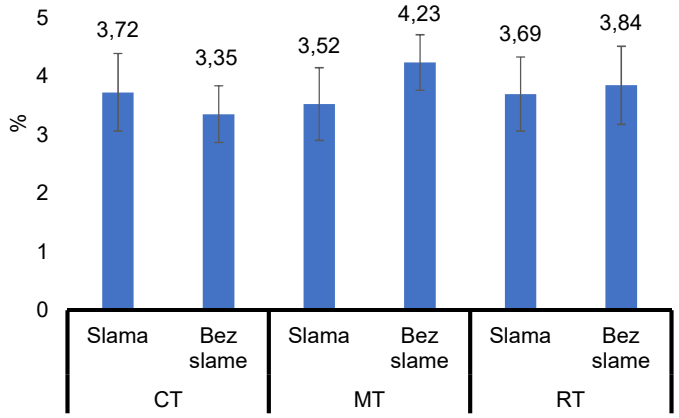
Prosječna vrijednost OT je iznosila 3,73 %, dok je vrijednost koeficijenta varijabilnosti iznosila 15,28 %. Navedena prosječna vrijednost prema Hazelton i Murphy (2007) svrstava tlo u kategoriju sa visokim sadržajem organske tvari. Prema pojedinačnom utjecaju obrade tla, dobivene su sljedeće vrijednosti: MT (3,88 %) > RT (3,77 %) > CT (3,53 %) (grafikon 19). Pojedinačni faktor pokrova zabilježio je manju OT sa slamom (3,65 %) nego bez slame (3,81 %).



CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike ($p < 0,05$)

Grafikon 19. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na sadržaj organske tvari u tlu u 2019. godini

Interakcija Obrada × Pokrov ne bilježi značajan utjecaj na OT. Najmanja vrijednost OT utvrđena je na CT tretmanu bez slame (3,35 %), a najveća na MT (4,23 %). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar svakog pojedinog glavnog tretmana zabilježeno je relativno povećanje OT pod slamom kod CT (CT – 3,35 % < CT SL – 3,72 %) tretmana, dok je kod MT (MT – 4,23 % > MT SL – 3,52 % i RT (RT – 3,84 % > RT SL – 3,69 %) tretmana zabilježeno relativno smanjenje pod slamom (grafikon 20). Promatrajući utjecaj obrade pod malčem, zabilježene su vrijednosti OT u sljedećem redoslijedu: CT>RT>MT. Na tlu bez pokrova, zabilježene vrijednosti OT sljede niz: MT>RT>CT.

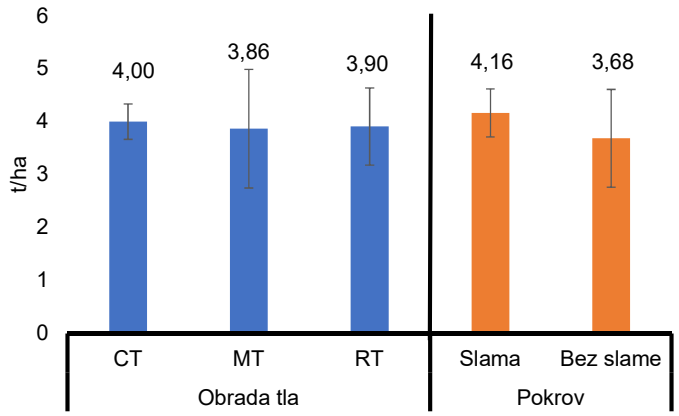


CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 20. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na sadržaj organske tvari u tlu u 2019. godini

4.2.7. Prinos soje u 2019. godini

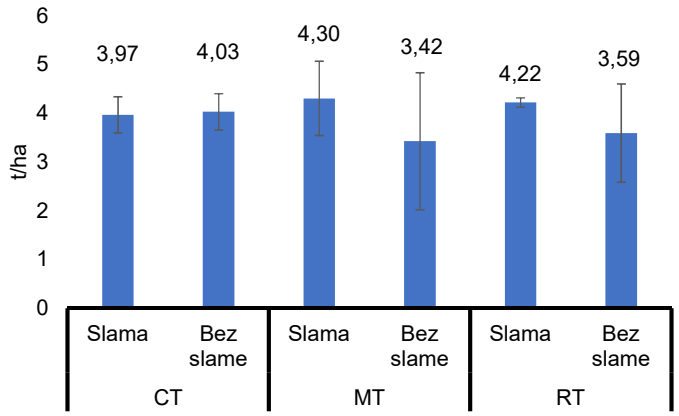
Prosječna vrijednost prinosa soje je iznosila 3,92 t/ha, dok je vrijednost koeficijenta varijabilnosti iznosila 18,87 %. Prema pojedinačnom utjecaju obrade tla, zabilježene su sljedeće vrijednosti: CT (4,0 t/ha) > RT (3,90 t/ha) > MT (3,86 t/ha) (grafikon 21). Pojedinačni faktor pokrova zabilježio je veći prinos soje pod slamom (4,16 kg/ha) nego bez slame (3,68 kg/ha).



CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike ($p < 0,05$)

Grafikon 21. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na prinos soje u 2019. godini

Interakcija Obrada × Pokrov ne bilježi značajan utjecaj na prinos soje. Najmanji prinos utvrđen je na CT SL (3,97 t/ha), a najveći na MT SL (4,30 t/ha). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar svakog pojedinog tretmana zabilježeno je relativno povećanje prinosa soje pod slamom kod MT (MT – 3,42 t/ha < MT SL – 4,30 t/ha) i RT (RT – 3,59 t/ha > RT SL – 4,22 t/ha) tretmana, dok je kod CT (CT – 4,03 t/ha > CT SL – 3,97 t/ha) tretmana zabilježeno relativno smanjenje pod slamom (grafikon 22). Promatrajući utjecaj obrade pod malčem, zabilježene su vrijednosti u sljedećem redoslijedu: MT>RT>CT. Na tlu bez pokrova, zabilježene vrijednosti sljede: CT>RT>MT.



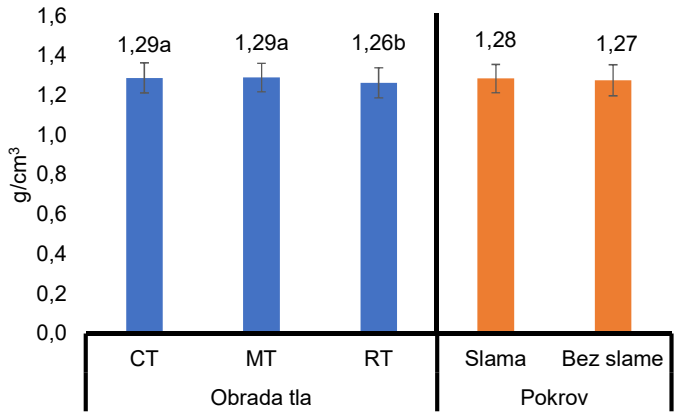
CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 22. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na prinos soje u 2019. godini

4.3. Fizikalna svojstva tla u 2020. godini

4.3.1. Volumna gustoća tla u 2020. godini

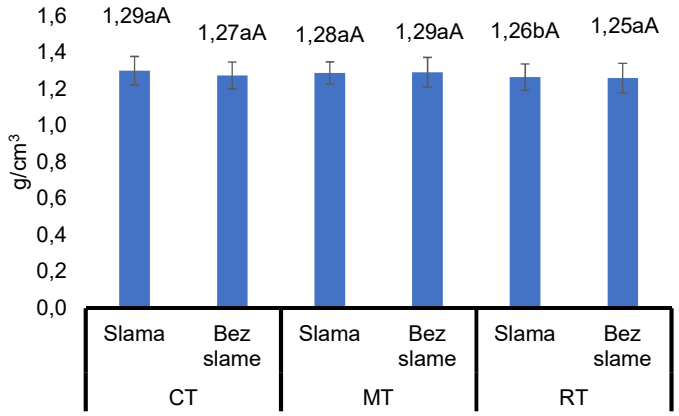
Prosječna volumna gustoća tla pri svim dubinama i za sve sustave obrade tla je iznosila 1,27 g/cm^3. Pri tome je volumna gustoća tla vrlo malo varirala između pojedinih sustava obrade tla, ali značajno veće vrijednosti prema jednofaktorijalnoj analizi su zabilježene na CT (1,29 g/cm^3) i MT (1,29 g/cm^3) tretmanima u odnosu na RT (1,26 g/cm^3). Primjena slame nije značajno utjecala (1,28 g/cm^3) na povećanje volumne gustoće u odnosu na parcele bez slame (1,27 g/cm^3) (grafikon 23).



CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike ($p < 0,05$)

Grafikon 23. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na volumnu gustoću tla u 2020. godini

Interakcija Obrada × Pokrov bilježi značajan utjecaj na volumnu gustoću tla ($p < 0,05$). Najmanja vrijednost ρv utvrđena je na RT tretmanu bez slame (1,25 g/cm^3), a najveća volumna gustoća tla na CT sa slamom (1,30 g/cm^3) (grafikon 24). Promatrajući obradu tla na malčiranim parcelama značajno niže vrijednosti zabilježene su na RT SL (1,26 g/cm3) u odnosu na ostale tretmane (MT SL – 1,28 g/cm^3; CT SL – 1,29 g/cm^3). Na parcelama bez slame nije bilo značajnih razlika, te njihove vrijednosti sljede: MT (1,29 g/cm^3) > CT (1,27 g/cm^3) > RT (1,25 g/cm^3). Uspoređujući utjecaj malča po tretmanu, bilježimo relativno povećanje na CT SL i RT SL parcelama, dok kod MT SL bilježimo blago smanjenje volumne gustoće tla.



CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

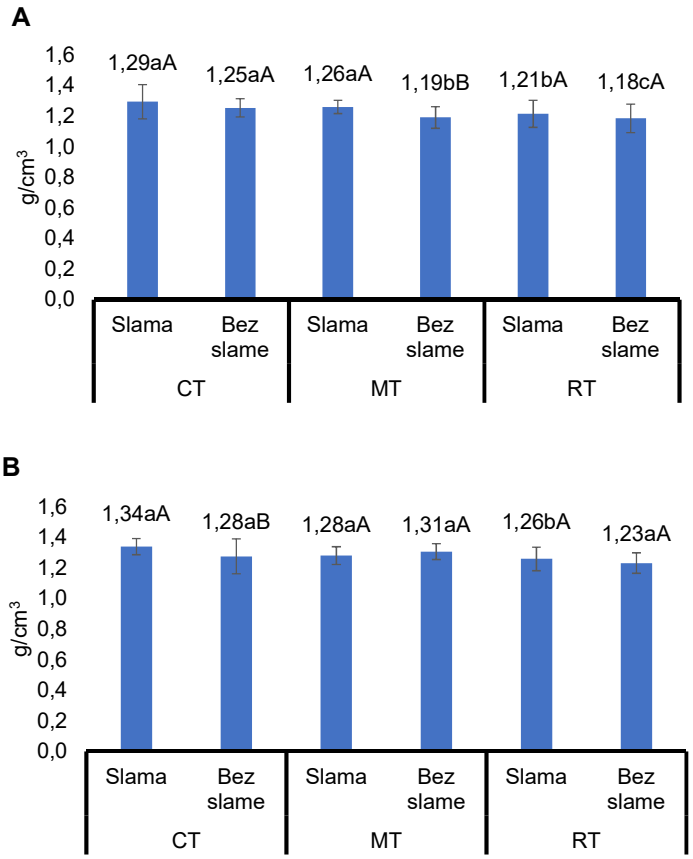
Grafikon 24. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na volumnu gustoću tla u 2020. godini

Promjene ρ_v prema dubini i vremenu uzorkovanja pokazuju značajne razlike u jesenskom (10-20 cm) i proljetnom uzorkovanju (0 – 10 cm; 10 – 20 cm). U jesenskom uzorkovanju na dubini 0 – 10 cm bilo značajnih razlika.

U proljetnom uzorkovanju na dubini 0 – 10 cm najveća izmjerena vrijednost ρ_v zabilježena je na CT SL (1,29 g/cm^3), a najmanja na RT SL (1,18 g/cm^3) (grafikon 25). Ukoliko uspoređujemo utjecaj pokrova unutar tretmana obrade, na parcelama sa slamom značajno se povećala vrijednost ρ_v kod MT (MT – 1,19 g/cm^3 < MT SL – 1,26 g/cm^3), a relativno kod RT (RT – 1,18 g/cm^3 < RT SL – 1,21 g/cm^3) i CT (CT – 1,25 g/cm^3 < CT SL – 1,29 g/cm^3) tretmana. Promatrajući utjecaj obrade na malčiranim parcelama, zabilježeno je značajno smanjenje ρ_v na RT tretmanu (1,21 g/cm^3) u odnosu na ostale tretmane (MT SL – 1,26 g/cm^3; CT SL – 1,29 g/cm^3). Na parcelama bez slame, vrijednosti ρ_v su se smanjivale prema sljedećem redoslijedu: CT<MT<RT.

Na dubini 10 – 20 cm u proljetnom uzorkovanju najveća izmjerena vrijednost ρ_v zabilježena je na CT SL (1,34 g/cm^3), a najmanja na RT (1,23 g/cm^3) (grafikon 25). Ukoliko uspoređujemo utjecaj pokrova unutar tretmana obrade, na parcelama sa slamom značajno se povećala vrijednost ρ_v kod CT (CT – 1,28 g/cm^3 < CT SL – 1,34 g/cm^3), a relativno kod RT (RT – 1,23 g/cm^3 < RT SL – 1,26 g/cm^3). Relativno smanjenje zabilježeno je kod MT (MT – 1,31 g/cm^3 < MT SL – 1,28 g/cm^3) tretmana. Promatrajući utjecaj obrade na malčiranim parcelama,

zabilježeno je značajno smanjenje ρ_v na RT tretmanu (1,26 g/cm^3) u odnosu na ostale tretmane (MT SL – 1,28 g/cm^3; CT SL – 1,34 g/cm^3). Na parcelama bez slame, vrijednosti ρ_v su se smanjivale prema sljedećem redoslijedu: MT>CT>RT.



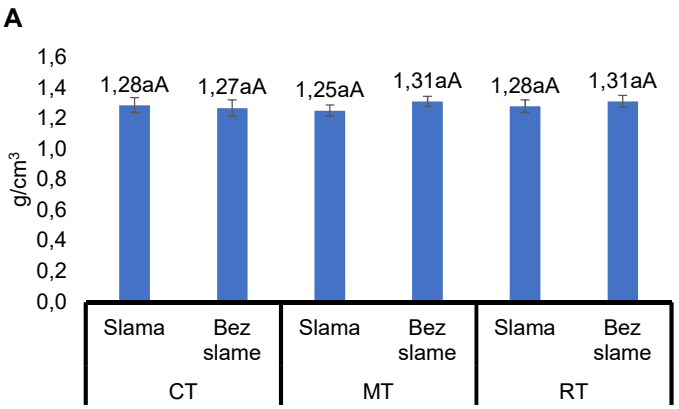
CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

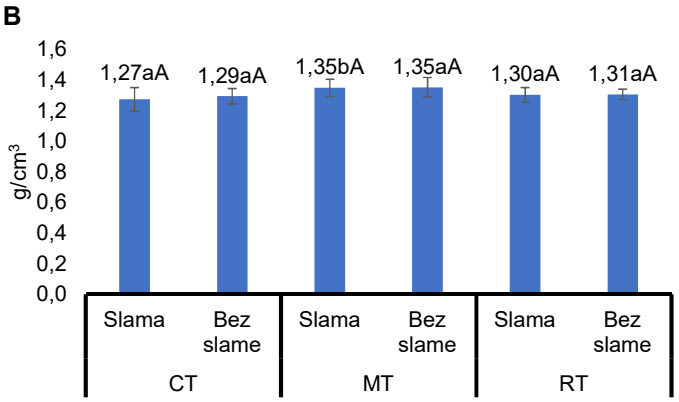
Grafikon 25. Utjecaj obrade tla i pokrova na ρ_v u proljetnom uzorkovanju (2020.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B)

U jesenskom uzorkovanju na dubini 0 – 10 cm najveća izmjerena vrijednost ρ_v zabilježena je na MT i RT (1,31 g/cm^3), a najmanja na MT SL (1,25 g/cm^3) (grafikon 26). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, slama je relativno smanjila ρ_v kod MT (MT – 1,31 g/cm^3 > MT SL –

1,25 g/cm^3) i RT (RT – 1,31 g/cm^3 > RT SL – 1,28 g/cm^3), a povećala kod CT (CT – 1,26 g/cm^3 < CT SL – 1,28 g/cm^3). Prema obradi, na mačiranim parcelama, vrijednosti ρ_v su se smanjivale prema sljedećem redoslijedu: RT>CT>MT, a na parcelama bez slame: MT=RT>CT.

Na dubini 10 – 20 cm u jesenskom uzorkovanju najveća izmjerena vrijednost ρ_v zabilježena je na MT (1,36 g/cm^3), a najmanja na CT SL (1,27 g/cm^3). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, primjena slama je smanjila ρ_v kod CT (CT – 1,29 g/cm^3 > CT SL – 1,27 g/cm^3) i RT (RT – 1,31 g/cm^3 > RT SL – 1,30 g/cm^3), dok kod MT (MT = MT SL – 1,35 g/cm^3) nije bilo razlike. Promatrajući utjecaj obrade na malčiranim parcelama, bilježimo značajno veće vrijednosti na MT tretmanu (1,35 g/cm^3) u odnosu na CT i RT tretmane. Na parcelama bez slame nije bilo značajnih razlika, te se ρ_v smanjivao prema sljedećem redoslijedu: MT>RT>CT.



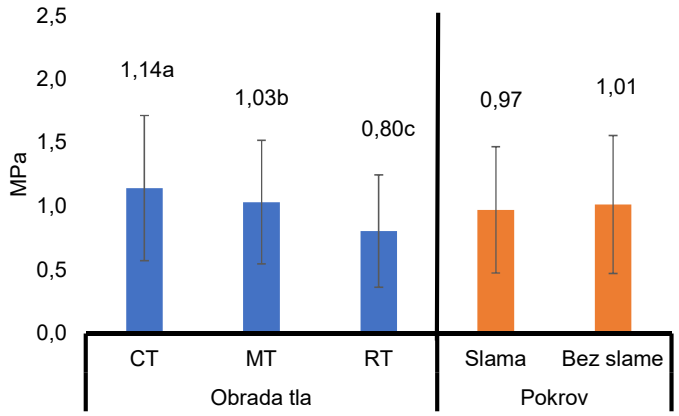


CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 26. Utjecaj obrade tla i pokrova na ρ_v u jesenskom uzorkovanju (2020.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B)

4.3.2. Mehanički otpor tla u 2020. godini

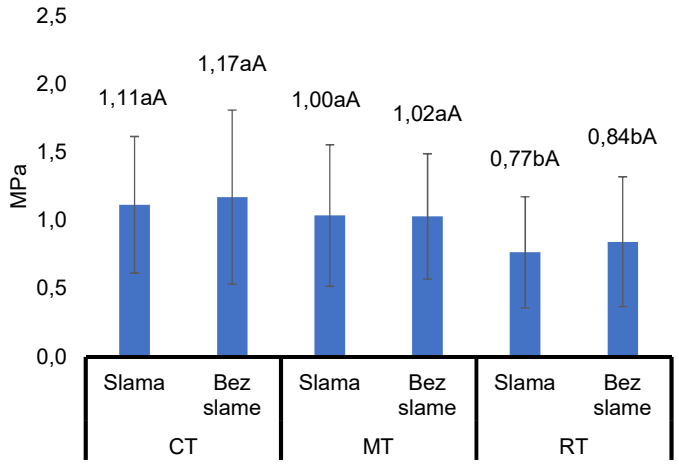
Prosječni godišnji MOP (0 – 20 cm) je iznosio 0,99 MPa, dok se prema vrijednosti koeficijenta varijabilnosti MOP smatra umjereno varijabilnim (USDA, 2017). Prema pojedinačnom utjecaju faktora obrade tla njihove su vrijednosti kako sljedi CT (1,14 MPa) > MT (1,03 MPa) > RT (0,80 Mpa) (grafikon 27). Pojedinačni faktor pokrova zabilježio je relativno manji MOP sa slamom (0,97 MPa) nego bez slame (1,01 MPa).



CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike ($p < 0,05$)

Grafikon 27. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na mehanički otpor tla u 2020. godini

Interakcija Obrada × Pokrov bilježi značajan utjecaj na MOP ($p < 0,05$). Najmanja vrijednost MOP utvrđena je na RT tretmanu sa slamom (0,76 MPa), a najveća na CT tretmanu (1,17 MPa). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar svakog pojedinog glavnog tretmana, vidljivo je smanjenje MOP pod slamom u odnosu na tretmane bez slame. Relativno smanjenje MOP zabilježeno je kod CT (CT – 1,17 MPa > CT SL – 1,11 MPa) i RT (RT – 0,84 MPa > RT SL – 0,77 MPa) tretmana, dok je kod MT tretmana zbijenost gotovo jednaka (MT – 1,02 MPa > MT SL – 1,00 MPa) (grafikon 28).



CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

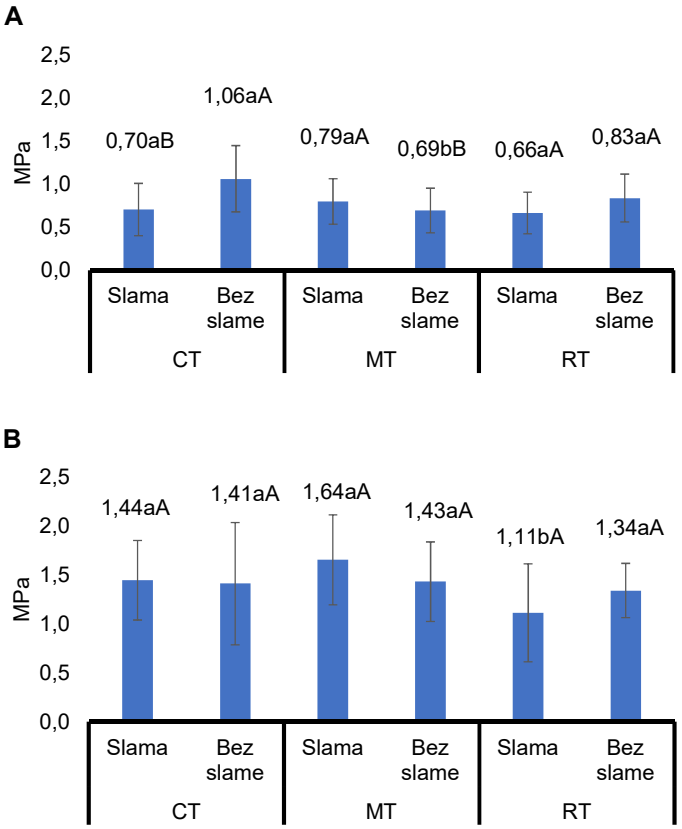
Grafikon 28. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na mehanički otpor tla u 2020. godini

Promjene MOP prema dubini i vremenu uzorkovanja pokazuju značajne razlike u svim uzorkovanjima na dubinama od 0 – 10 i 10 – 20 cm.

U proljetnom uzorkovanju na dubini 0 – 10 cm najveća izmjerena vrijednost MOP zabilježena je na CT (1,06 MPa), a najmanja na RT SL (0,66 MPa) (grafikon 29). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, zabilježeno je značajno smanjenje MOP na CT tretmanu primjenom slame (CT SL – 0,70 MPa < CT – 1,06 MPa), te značajno povećanje MOP primjenom slame (MT – 0,69 Mpa < MT SL – 0,79 MPa). Na ostalim tretmanima nije bilo značajnih razlika, nego relativno smanjenje na RT (RT SL – 0,66 MPa < RT – 0,83 MPa) tretmanu. Prema obradi, na malčiranim parcelama, vrijednosti MOP su se smanjivale prema sljedećem redoslijedu: MT>CT>RT, a značajne razlike nisu utvrđene. Na parcelama bez slame bilježimo značajno smanjenje na MT tretmanu u odnosu na CT i RT tretmane, te su se dobivene MOP vrijednosti smanjivale prema sljedećem redoslijedu: CT>RT>MT.

Na dubini 10 – 20 cm u proljetnom uzorkovanju najveća izmjerena vrijednost MOP zabilježena je na MT SL (1,64 MPa), a najmanja na RT SL (1,11 MPa). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, primjena slame je relativno smanjila MOP kod RT (RT – 1,34 MPa > CT SL – 1,11 MPa), te je relativno povećala kod MT (MT SL – 1,64 MPa > MT – 1,43 MPa) i CT (CT SL – 1,44 MPa > CT – 1,41 MPa). Prema obradi, na malčiranim parcelama, vrijednosti MOP

su se smanjivale prema sljedećem redoslijedu: MT>CT>RT, sa značajno nižim vrijednostima na RT tretmanu u odnosu na CT i MT tretmane. Na parcelama bez slame, dobivene vrijednosti smanjivale prema sljedećem redoslijedu: MT>CT>RT.



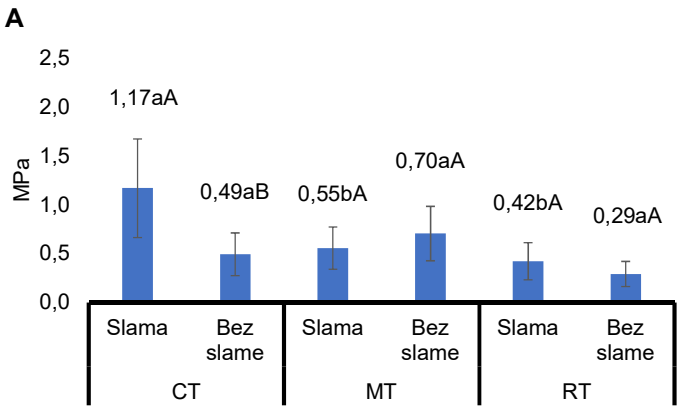
CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

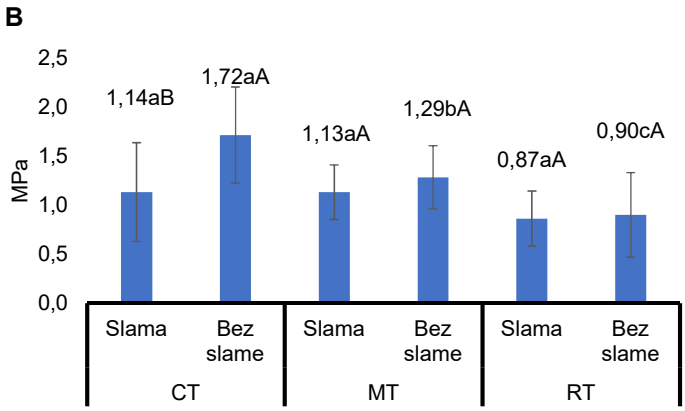
Grafikon 29. Utjecaj obrade tla i pokrova na MOP u proljetnom uzorkovanju (2020.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B)

U jesenskom uzorkovanju na dubini 0 – 10 cm najveća izmjerena vrijednost MOP zabilježena je na CT SL (1,17 MPa), a najmanja na RT (0,29 MPa) (grafikon 30). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, slama je relativno smanjila MOP kod MT (MT – 0,70 MPa > MT SL

– 0,55 MPa), a povećala kod RT (RT – 0,29 MPa < RT SL – 0,42 MPa), značajno povećanje zabilježeno je na CT (CT – 0,49 MPa < CT SL – 1,17 MPa) tretmanu. Prema obradi, na malčiranim parcelama, vrijednosti PT su se smanjivale prema sljedećem redoslijedu: CT>MT>RT, te je zabilježeno značajno smanjenje MOP na CT tretmanu u odnosu na MT i RT tretmane. Na parcelama bez slame nije bilo značajnih razlika, te su se dobivene vrijednosti smanjivale prema sljedećem redoslijedu: MT>CT>RT.

Na dubini 10 – 20 cm u jesenskom uzorkovanju najveća izmjerena vrijednost MOP zabilježena je na CT (1,71 MPa), a najmanja na RT SL (0,86 MPa). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, primjena slama je značajno smanjila MOP kod CT (CT – 1,13 MPa < CT SL – 1,71 MPa), te je relativno smanjila kod RT (RT SL – 0,86 MPa < RT – 0,90 MPa) i MT (MT SL – 1,13 MPa < MT – 1,28 MPa). Prema obradi, na malčiranim parcelama, nije bilo značajnih razlika te su se vrijednosti MOP smanjivale prema sljedećem redoslijedu: CT>MT>RT. Na parcelama bez slame bilježimo značajno smanjenje na MT i RT tretmanu u odnosu na CT tretman, te su se dobivene vrijednosti smanjivale prema sljedećem redoslijedu: CT>MT>RT.



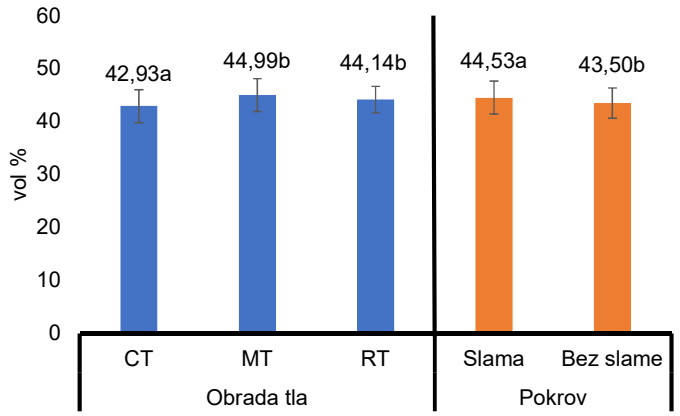


CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 30. Utjecaj obrade tla i pokrova na MOP u jesenskom uzorkovanju (2020.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B)

4.3.3. Retencijski kapacitet tla za vodu u 2020. godini

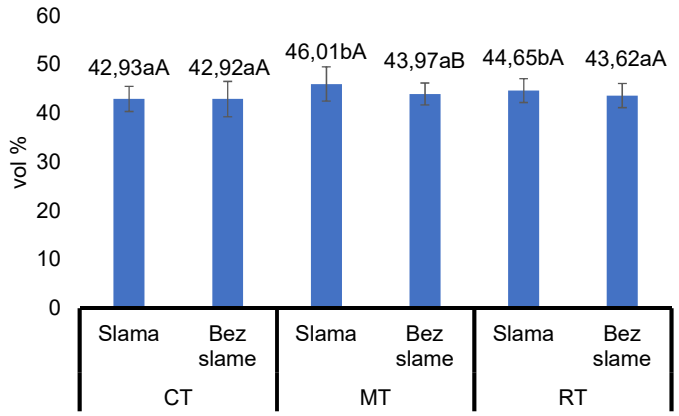
Prosječni godišnji RKV je iznosio 44,02 vol %, dok je vrijednost koeficijenta varijabilnosti iznosila 6,86 vol %. Na grafikonu 31 vidljiv je značajan utjecaj faktora obrade tla i pokrova, te njihove interakcije (grafikon 32). Prema pojedinačnom utjecaju obrade tla zabilježeno je značajno povećanje RKV na MT (44,99 vol %) i RT (44,14 vol %) tretmanima u odnosu na CT (42,93 vol %) tretman. Pojedinačni faktor pokrova zabilježio je značajno manji RKV bez slame (43,50 vol %) nego sa slamom (44,53 vol %) (grafikon 31).



CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike ($p < 0,05$)

Grafikon 31. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na kapacitet tla za vodu u 2020. godini

Interakcija Obrada × Pokrov bilježi značajan utjecaj na RKV ($p < 0,05$). Najmanja vrijednost RKV utvrđena je na CT tretmanu (42,9 vol %), a najveća na MT SL (46,01 vol %). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar svakog pojedinog glavnog tretmana, vidljivo je smanjenje RKV pod slamom u odnosu na tretmane bez slame. Značajno smanjenje RKV zabilježeno je kod MT (MT – 43,97 vol % < MT SL – 46,01 vol %) i RT (RT – 43,62 vol % > RT SL – 44,65 vol %) tretmana, dok je kod CT tretmana rezultat gotovo jednak (CT – 42,92 vol % < CT SL – 42,93 vol %) (grafikon 32). Značajne razlike zabilježene su prema obradi na malčiranim parcelama, između MT i RT tretmana u odnosu na CT tretman. Na parcelama bez pokrova nije bilo značajnih razlika, te su dobivene RKV vrijednosti prema sljedećem redoslijedu: MT>RT>CT.



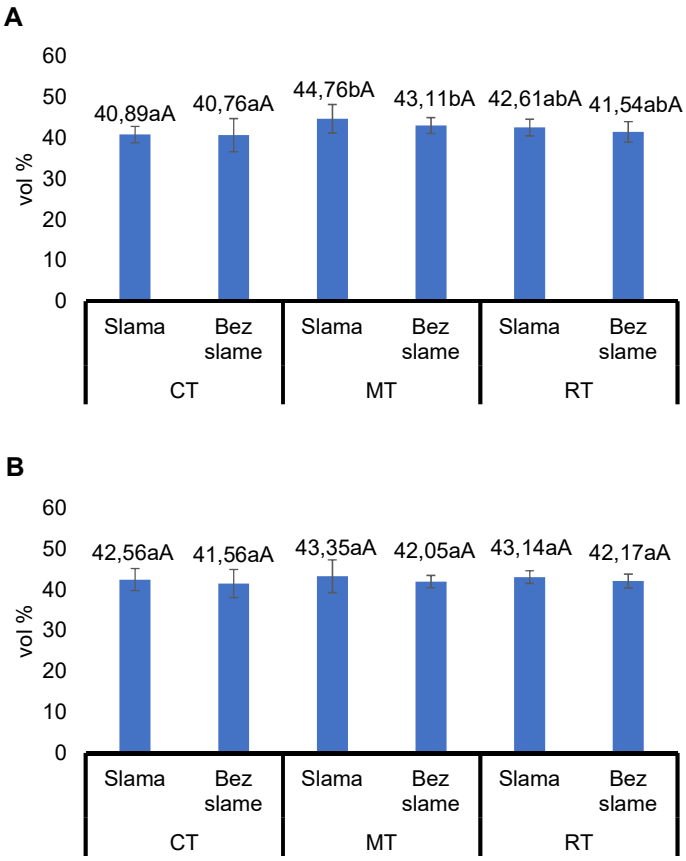
CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 32. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na kapacitet tla za vodu u 2020. godini

Promjene RKV prema dubini i vremenu uzorkovanja pokazuju značajne razlike u svim uzorkovanjima na dubinama od 0 – 10 i 10 – 20 cm, osim proljetnog na dubini 10 – 20 cm.

U proljetnom uzorkovanju na dubini 0 – 10 cm najveća izmjerena vrijednost RKV zabilježena je na MT SL (44,76 vol %), a najmanja na CT (40,76 vol %) (grafikon 33). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, zabilježeno je relativno povećanje RKV primjenom slame na MT (MT SL – 44,76 vol % > MT – 43,11 vol %) i RT (RT – 41,54 vol % < RT SL – 42,61 vol %) tretmanu, te sa zanemarivim razlikama na CT (CT SL – 40,89 vol % > RT – 40,76 vol %) tretmanu. Prema obradi, na malčiranim parcelama, značajno veća vrijednost RKV zabilježena je na MT tretmanu u odnosu na CT i RT tretman, a RKV vrijednosti su se smanjivale prema sljedećem redoslijedu: MT>RT>CT. Na parcelama bez slame nije bilo značajnih razlika, te su se dobivene vrijednosti smanjivale prema sljedećem redoslijedu: MT>RT>CT.

Na dubini 10 – 20 cm u proljetnom uzorkovanju najveća izmjerena vrijednost RKV zabilježena je na MT SL (43,35 vol %), a najmanja na CT (41,56 vol %). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, primjena slame je relativno povećala RKV kod RT (RT – 42,17 vol % < RT SL – 43,14 vol %), MT (MT SL – 43,35 vol % > MT – 42,05 vol %) i CT (CT SL – 42,56 vol % > CT – 41,56 vol %) tretmana. Prema obradi, na mačiranim parcelama, vrijednosti RKV su se smanjivale prema sljedećem redoslijedu: MT>RT>CT. Na parcelama bez slame, dobivene vrijednosti smanjivale prema sljedećem redoslijedu: RT>MT>CT.



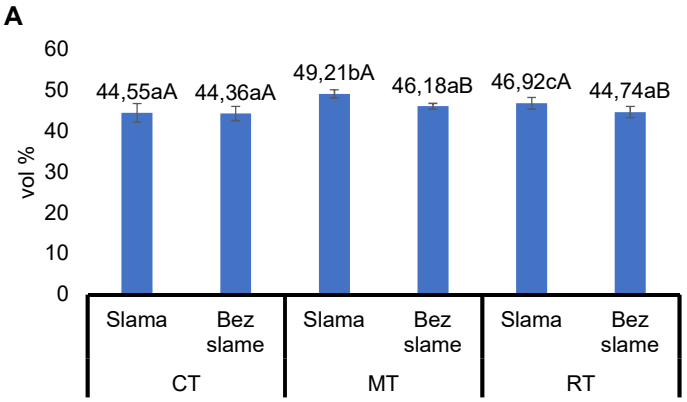
CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

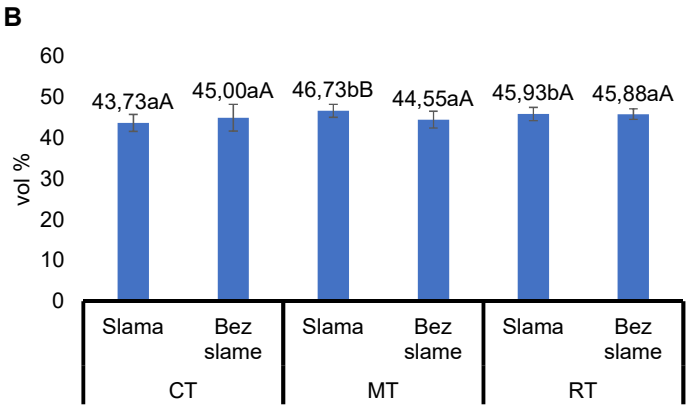
Grafikon 33. Utjecaj obrade tla i pokrova na RKV u proljetnom uzorkovanju (2020.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B)

U jesenskom uzorkovanju na dubini 0 – 10 cm najveća izmjerena vrijednost RKV zabilježena je na MT SL (49,21 vol %), a najmanja na CT bez slame (44,36 vol %) (grafikon 34). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, slama je značajno povećala RKV kod MT (MT – 46,18 vol % < MT SL – 49,21 vol %) i RT (RT – 44,74 vol % < RT SL – 46,92 vol %) tretmana, a na CT (CT – 44,36 vol % < CT SL – 44,55 vol %) tretmanu razlike su zanemarive. Prema obradi, na malčiranim parcelama, vrijednosti RKV su se značajno razlikovale između svih

tretmana, prema sljedećem redoslijedu: MT>RT>CT. Na parcelama bez slame nije bilo značajnih razlika, te su se dobivene vrijednosti smanjivale prema sljedećem redoslijedu: MT>RT>CT.

Na dubini 10 – 20 cm u jesenskom uzorkovanju najveća izmjerena vrijednost RKV zabilježena je na MT SL (46,73 vol %), a najmanja na CT SL (43,73 vol %). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, primjena slame je značajno povećala RKV kod MT (MT – 44,55 vol % < MT SL – 46,73 vol %), te je relativno smanjila kod CT (CT SL – 43,73 vol % < CT – 45 vol %). Na RT (RT SL – 45,93 vol % > RT – 45,88 vol %) tretmanu razlike su zanemarive. Prema obradi, na malčiranim parcelama, vrijednosti RKV su značajno veće na MT i RT tretmanima u odnosu na CT tretman. Vrijednosti su se smanjivale prema sljedećem redoslijedu: MT>RT>CT. Na parcelama bez slame nije bilo značajnih razlika, te su se dobivene vrijednosti smanjivale prema sljedećem redoslijedu: RT>MT>CT.



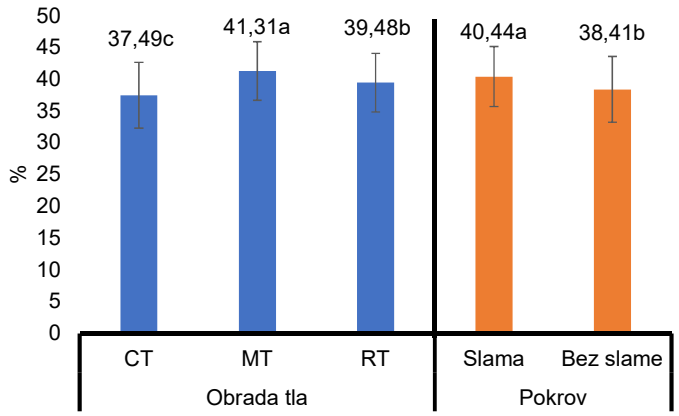


CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 34. Utjecaj obrade tla i pokrova na RKV u jesenskom uzorkovanju (2020.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B)

4.3.4. Trenutačna vlaga u tlu u 2020. godini

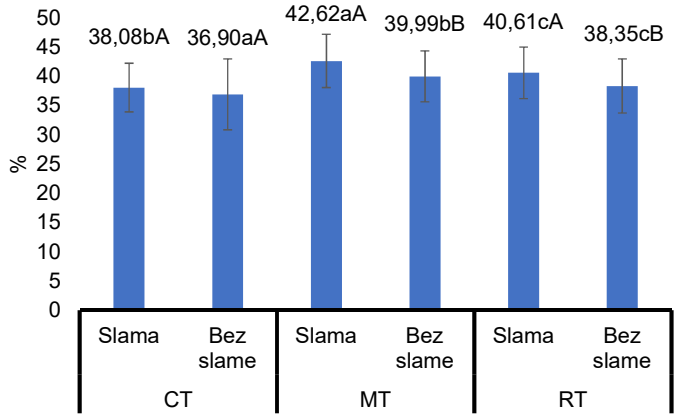
Prosječni godišnji TV je iznosio 39,24 %, dok je vrijednost koeficijenta varijabilnosti iznosila 12,78 %. Na grafikonu 35 prikazan je značajan utjecaj pojedinačnih faktora obrade tla i pokrova. Prema pojedinačnom utjecaju obrade tla, MT (41,31 %) tretman je značajno veći od RT (39,48 %) i CT (37,49 %) tretmana, dok je RT značajno veći od CT tretmana, a značajno manji od MT tretmana. Pojedinačni faktor pokrova zabilježio je značajno manji TV bez slame (38,41 %) u odnosu na malčirane parcele (40,44 %) (grafikon 35).



CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike ($p < 0,05$)

Grafikon 35. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na trenutačnu vlažnost tla u 2020. godini

Interakcija Obrada × Pokrov bilježi značajan utjecaj na TV ($p < 0,05$). Najmanja vrijednost TV utvrđena je na CT bez slame (36,90 %), a najveća na MT SL (42,62 %). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar svakog pojedinog tretmana s obradom zabilježeno je značajno povećanje TV pod slamom kod MT (MT – 39,99 % < MT SL – 42,62 %) i RT (RT – 38,35 % < RT SL – 40,61 %) tretmana, dok je kod CT tretmana zabilježeno relativno povećanje pod slamom (CT – 36,90 % < CT SL – 38,08 %) (grafikon 36). Promatrajući utjecaj obrade pod malčem, zabilježene su značajno veće vrijednosti na MT tretmanu u odnosu na RT i CT tretman, te je RT tretman značajno veći od CT tretmana. Na tlu bez pokrova, zabilježene su značajno veće vrijednosti TV na MT tretmanu u odnosu na RT i CT tretman, dok je RT tretman imao značajno veći TV od CT tretmana.



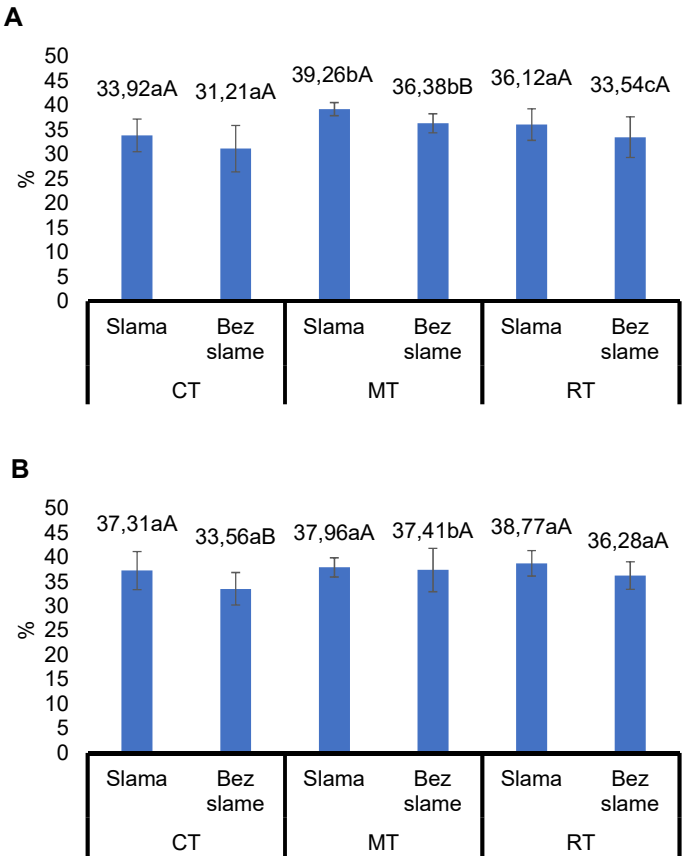
CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 36. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na trenutačnu vlažnost tla u 2020. godini

Promjene TV prema dubini i vremenu uzorkovanja pokazuju značajne razlike u svim uzorkovanjima na dubinama 0 – 10 i 10 – 20 cm.

U proljetnom uzorkovanju na dubini 0 – 10 cm najveća izmjerena vrijednost TV zabilježena je na MT SL (39,26 %), a najmanja na CT (31,21 %) (grafikon 37). Prema pokrovu, zabilježeno je značajno povećanje TV na MT (MT SL – 39,26 % > MT – 36,38 %) primjenom slame, dok je na CT (CT SL – 33,92 % > CT – 31,21 %) i RT (RT – 33,54 % < RT SL – 36,12 %) tretmanu primjena slame relativno povećala TV (grafikon 42). Prema obradi, na parcelama sa slamom, MT tretman je zabilježio značajno veće vrijednosti, u odnosu na RT i CT tretmane. Na parcelama bez pokrova, MT tretman je zabilježio značajno veće vrijednosti TV u odnosu na RT i CT tretmane.

Na dubini 10 – 20 cm u proljetnom uzorkovanju najveća izmjerena vrijednost TV zabilježena je na MT SL (37,96 %), a najmanja na CT (33,56 %). Prema pokrovu, zabilježeno je značajno povećanje TV na CT (CT – 33,56 % > CT SL – 37,31 %), te relativno na RT (RT SL – 38,77 % > RT – 36,28 %) i MT (MT SL – 37,96 % > MT – 37,41 %) tretmanu pod slamom. Promatrajući obradu, na parcelama bez pokrova, zabilježeno je smanjenje vrijednosti TV kako slijedi: MT>RT>CT. Na parcelama sa slamom nije bilo značajnih razlika, a zabilježene vrijednosti sljede redoslijed: RT>MT>CT.



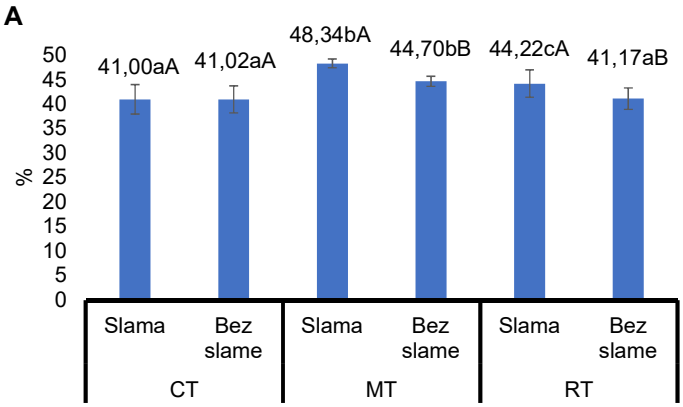
CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

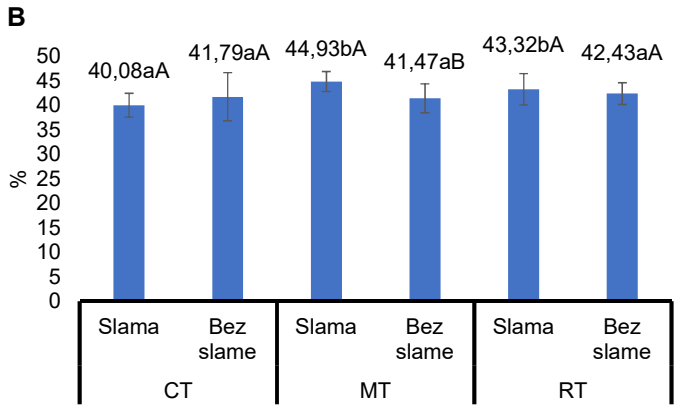
Grafikon 37. Utjecaj obrade tla i pokrova na TV u proljetnom uzorkovanju (2020.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B)

U jesenskom uzorkovanju na dubini 0 – 10 cm najveća izmjerena vrijednost TV zabilježena je na MT SL (48,34 %), a najmanja na CT (41 %) (grafikon 38). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, slama je značajno povećala TV kod MT (MT – 44,70 % < MT SL – 48,34 %) i RT (RT – 41,17 % < RT SL – 44,22 %), a na CT (CT – 41 % < CT SL – 41,02 %) tretmanu razlike su zanemarive. Promatrajući obradu prema pokrovu, na tretmanima sa slamom značajno veće vrijednosti zabilježene su na MT tretmanu u odnosu na RT i CT tretman, i na

RT tretmanu u odnosu na CT tretman. Na parcelama bez slame, MT tretman zabilježio je značajno veću vrijednost TV, u odnosu na CT i RT tretmane.

Na dubini 10 – 20 cm u jesenskom uzorkovanju najveća izmjerena vrijednost TV zabilježena je na MT SL (44,93 %), a najmanja na MT (41,47 %). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, primjena slame je značajno povećala TV kod MT (MT – 41,47 % < MT SL – 44,93 %), te relativno kod RT (RT SL – 43,32 % > RT – 42,43 %) tretmana. Relativno smanjenje TV primjenom slame zabilježeno je na CT (CT SL – 40,08 % < CT – 41,79 %) tretmanu. Promatrajući obradu prema faktoru pokrova, na tretmanima sa slamom bilježimo značajno niže vrijednosti TV kod CT tretmana u odnosu na MT i RT tretmane. Promatrajući parcele bez slame, nije bilo značajnih razlika, te su vrijednosti zabilježene prema sljedećem redoslijedu: RT>CT>MT.



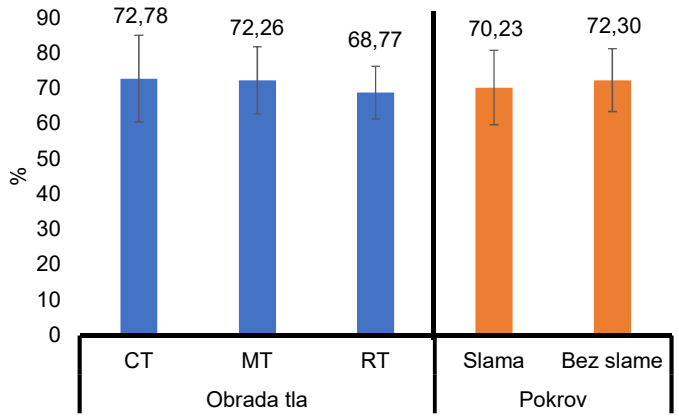


CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 38. Utjecaj obrade tla i pokrova na TV u jesenskom uzorkovanju (2020.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B)

4.3.5. Stabilnost strukturnih agregata u 2020. godini

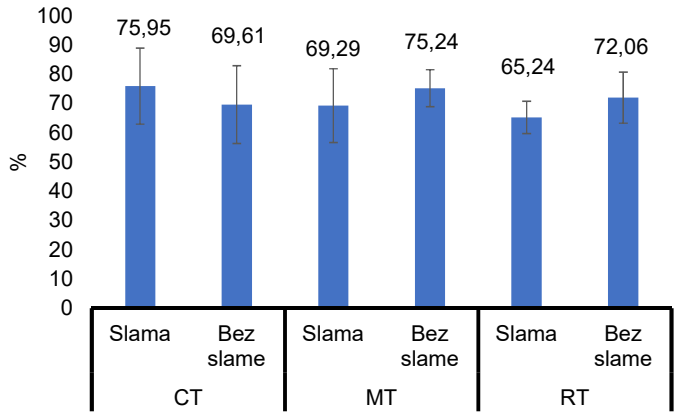
Prosječna godišnja vrijednost SSA je iznosila 71,27 %, dok je vrijednost koeficijenta varijabilnosti iznosio 13,35 %. Na grafikonima 39 i 40 prikazan je nesignifikantan utjecaj pojedinačnih faktora obrade tla i pokrova, te interakcije obrade tla i pokrova. Prema pojedinačnom utjecaju obrade tla vrijednosti SSA su kako slijedi CT (72,28 %) > MT (72,26 %) > RT (68,77 %) (grafikon 39). Pojedinačni faktor pokrova zabilježio je manji SSA sa slamom (70,23 %) nego bez slame (72,30 %).



CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike ($p < 0,05$)

Grafikon 39. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na stabilnost strukturnih agregata u 2020. godini

Interakcija Obrada × Pokrov ne bilježi značajan utjecaj na SSA. Najmanja vrijednost SSA utvrđena je na RT SL (65,24 %), a najveća na CT SL (75,95 %). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar svake obrade tla zabilježeno je relativno povećanje SSA pod slamom kod CT (CT – 69,61 % < CT SL – 75,95 %), dok je kod MT (MT – 75,24 % > MT SL – 69,29 %) i RT (RT – 72,06 % > RT SL – 65,24 %) tretmana zabilježeno relativno smanjenje SSA pod slamom (grafikon 40). Promatrajući utjecaj obrade pod malčem, zabilježene su vrijednosti u sljedećem redoslijedu: CT>MT>RT. Na tlu bez pokrova, zabilježene vrijednosti sljede: MT>RT>CT.

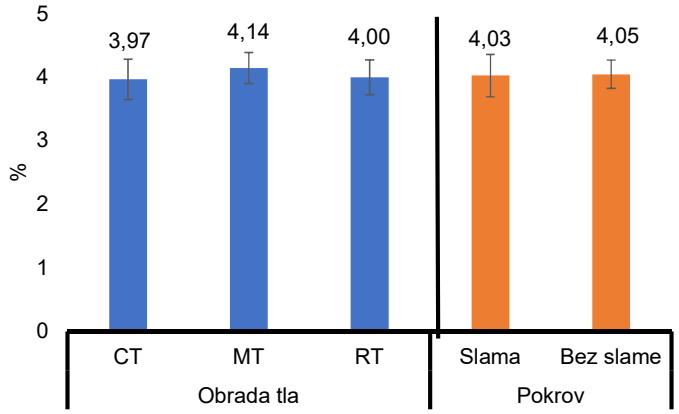


CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 40. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na stabilnost strukturnih agregata u 2020. godini

4.3.6. Organska tvar u tlu u 2020. godini

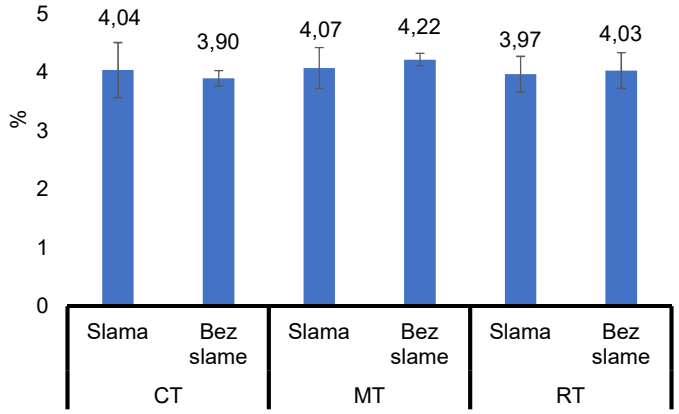
Prosječna vrijednost OT je iznosila 4,03 %, dok je vrijednost koeficijenta varijabilnosti iznosila 6,69 %. Prema pojedinačnom utjecaju obrade tla *Post-hoc* test nije zabilježio značajne razlike, te su njihove vrijednosti kako sljedi MT (4,14 %) > RT (4,00 %) > CT (3,97 %) (grafikon 41). Pojedinačni faktor pokrova zabilježio je manju OT sa slamom (4,03 %) nego bez slame (4,05 %).



CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike ($p < 0,05$)

Grafikon 41. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na stabilnost strukturnih agregata u 2020. godini

Interakcija Obrada × Pokrov ne bilježi značajan utjecaj na OT. Najmanja vrijednost OT utvrđena je na CT tretmanu bez slame (3,90 %), a najveća na MT (4,22 %). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar svakog pojedinog glavnog tretmana zabilježeno je relativno povećanje OT pod slamom kod CT (CT – 3,90 % < CT SL – 4,04 %) tretmana, dok je kod MT (MT – 4,22 % > MT SL – 4,07 % i RT (RT – 4,03 % > RT SL – 3,97 %) tretmana zabilježeno relativno smanjenje pod slamom (grafikon 42). Promatrajući utjecaj obrade pod malčem, zabilježene su vrijednosti u sljedećem redoslijedu: MT>CT>RT. Na tlu bez pokrova, zabilježene vrijednosti sljede: MT>RT>CT.

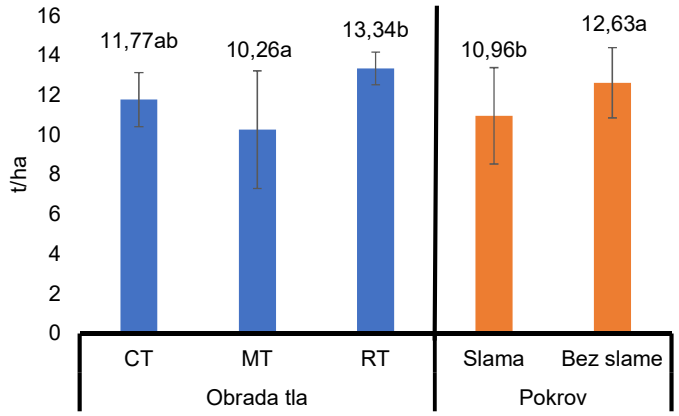


CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 42. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na sadržaj organske tvari u tlu u 2020. godini

4.3.7. Prinos kukuruza u 2020. godini

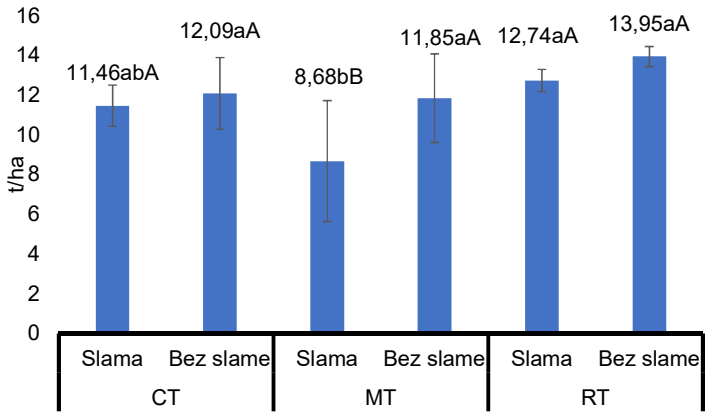
Prosječna vrijednost prinosa kukuruza je iznosila 11,79 t/ha, dok je vrijednost koeficijenta varijabilnosti iznosila 18,91 %. Prema pojedinačnom utjecaju obrade tla RT tretman (13,34 t/ha) je značajno veći od MT tretmana (10,26 t/ha), dok oba tretmana u odnosu na CT tretman (11,77 t/ha) nisu zabilježili značajne razlike u prinosu kukuruza (grafikon 43). Pojedinačni faktor pokrova zabilježio je značajno veći prinos kukuruza bez slame (12,63 t/ha) nego sa slamom (10,96 t/ha).



CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike ($p < 0,05$)

Grafikon 43. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na prinos kukuruza u 2020. godini

Interakcija Obrada × Pokrov bilježi značajan utjecaj na prinos kukuruza. Najmanji prinos utvrđen je na MT SL (8,68 t/ha), a najveći na RT (13,95 t/ha). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar svakog pojedinog tretmana zabilježeno je relativno povećanje prinosa na parcelama bez slame kod CT (CT – 12,09 t/ha > CT SL – 11,46 t/ha) i RT (RT – 13,95 t/ha > RT SL – 12,74 t/ha) tretmana, dok je kod tretmana MT (MT – 11,85 t/ha > MT SL – 8,68 t/ha) zabilježeno značajno povećanje prinosa pod slamom (grafikon 44). Promatrajući utjecaj obrade pod malčem, zabilježene su značajno veće vrijednosti na RT tretmanu u odnosu na MT tretman dok se CT tretman nije značajno razlikovao od ostalih tretmana. Na tlu bez pokrova, zabilježene su vrijednosti prema sljedećem redoslijedu: RT>CT>MT.



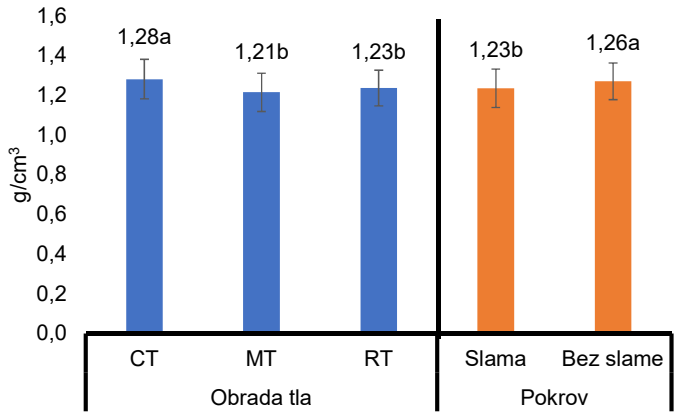
CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 44. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na prinos kukuruza u 2020. godini

4.4. Fizikalna svojstva tla u 2021. godini

4.4.1. Volumna gustoća tla u 2021. godini

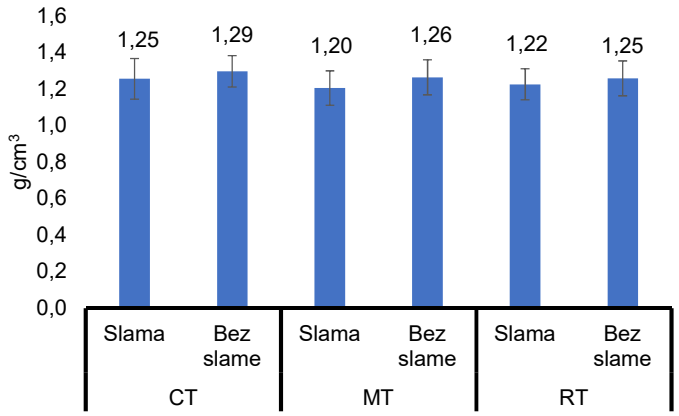
Prosječna volumna gustoća tla pri svim dubinama i za sve sustave obrade tla je iznosila 1,24 g/cm^3. Pri tome je volumna gustoća tla vrlo malo varirala između pojedinih sustava obrade tla. Značajno veće vrijednosti prema jednofaktorijalnoj analizi su zabilježene na CT (1,28 g/cm^3) tretmanu u odnosu na RT (1,23 g/cm^3) i MT (1,21 g/cm^3) Primjena slame je značajno utjecala (1,23 g/cm^3) na smanjenje volumne gustoće u odnosu na parcele bez slame (1,26 g/cm^3) (grafikon 45).



CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike ($p < 0,05$)

Grafikon 45. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na volumnu gustoću tla u 2021. godini

Interakcija Obrada × Pokrov nije bilježio značajan utjecaj na volumnu gustoću tla. Najmanja vrijednost ρ_v utvrđena je na MT tretmanu sa slamom (1,20 g/cm^3), a najveća ρ_v na CT bez slame (1,29 g/cm^3) (grafikon 46). Promatrajući obradu tla na malčiranim parcelama bez značajnih razlika, zabilježene su sljedeće vrijednosti: CT SL (1,25 g/cm^3) > RT SL (1,22 g/cm^3) > MT SL (1,20 g/cm^3). Na parcelama bez slame nije bilo značajnih razlika, te njihove vrijednosti sljede: CT (1,29 g/cm^3) > MT (1,26 g/cm^3) > RT (1,25 g/cm^3). Uspoređujući utjecaj malča po tretmanu, bilježimo relativno smanjenje na CT SL, RT SL i MT SL parcelama.



CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

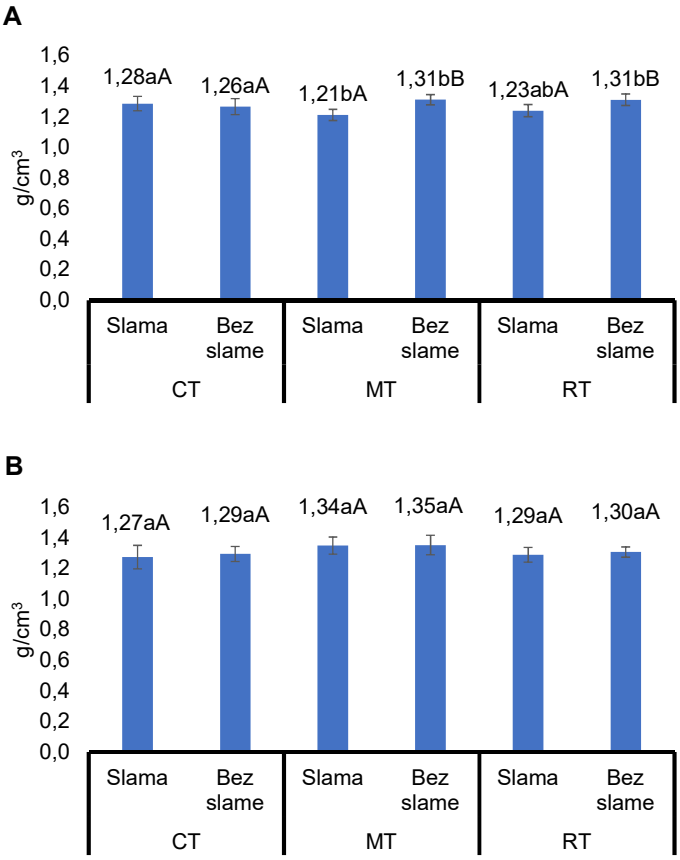
Grafikon 46. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na volumnu gustoću u 2021. godini

Promjene ρ_v prema dubini i vremenu uzorkovanja pokazuju značajne razlike u jesenskom (0 – 10 cm; 10 – 20 cm) i proljetnom uzorkovanju (0 – 10 cm), dok u proljetnom uzorkovanju na dubini 10 – 20 cm nije bilo značajnih razlika.

U proljetnom uzorkovanju na dubini 0 – 10 cm najveća izmjerena vrijednost ρ_v zabilježena je na RT (1,31 g/cm^3), a najmanja na MT SL (1,21 g/cm^3) (grafikon 47). Ukoliko uspoređujemo utjecaj pokrova unutar tretmana obrade, na parcelama sa slamom značajno se smanjila vrijednost ρ_v kod MT (MT – 1,31 g/cm^3 > MT SL – 1,21 g/cm^3) i RT (RT – 1,31 g/cm^3 > RT SL – 1,23 g/cm^3), a relativno povećala kod CT (CT – 1,26 g/cm^3 < CT SL – 1,28 g/cm^3) tretmana. Promatrajući utjecaj obrade na malčiranim parcelama, zabilježeno je značajno smanjenje ρ_v na MT tretmanu (1,21 g/cm^3) u odnosu na CT tretman, dok RT tretman nije bio značajno različit prema ostalim tretmanima. Na parcelama bez slame, CT tretman (1,26 g/cm^3) je značajno niži u odnosu na MT i RT tretmane.

Na dubini 10 – 20 cm u proljetnom uzorkovanju najveća izmjerena vrijednost ρ_v zabilježena je na MT (1,35 g/cm^3), a najmanja na CT SL (1,27 g/cm^3). Ukoliko uspoređujemo utjecaj pokrova unutar tretmana obrade, na parcelama sa slamom relativno se smanjila vrijednost ρ_v kod CT (CT – 1,29 g/cm^3 > CT SL – 1,32 g/cm^3), RT (RT – 1,30 g/cm^3 > RT SL – 1,29 g/cm^3) i MT (MT – 1,35 g/cm^3 > MT SL – 1,34 g/cm^3) tretmana. Promatrajući utjecaj obrade na malčiranim parcelama, zabilježeno je relativno smanjenje ρ_v prema sljedećem redoslijedu: MT>RT>CT.

Na parcelama bez slame, vrijednosti ρ_v su se smanjivale prema sljedećem redoslijedu: MT>RT>CT.



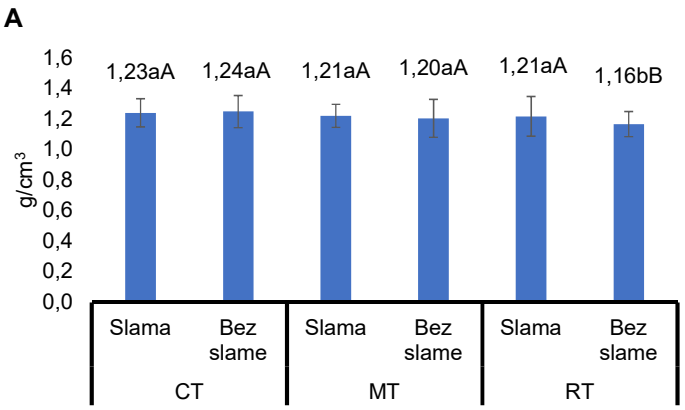
CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

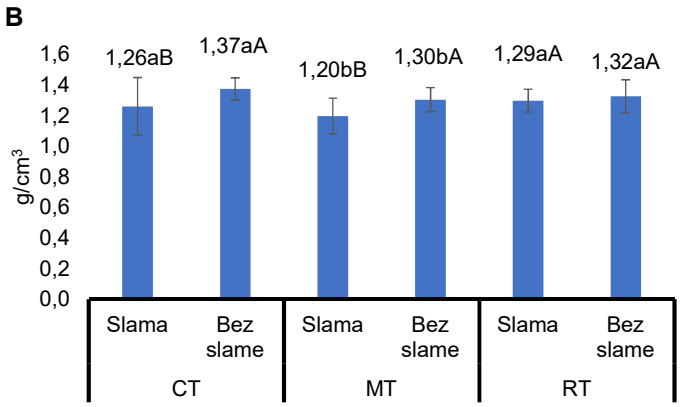
Grafikon 47. Utjecaj obrade tla i pokrova na ρ_v u proljetnom uzorkovanju (2021.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B)

U jesenskom uzorkovanju na dubini 0 – 10 cm najveća izmjerena vrijednost ρ_v zabilježena je na CT (1,24 g/cm^3), a najmanja na RT (1,16 g/cm^3) (grafikon 48). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, slama je relativno smanjila ρ_v kod CT (CT – 1,24 g/cm^3 > CT SL – 1,23 g/cm^3), a povećala kod MT (MT – 1,20 g/cm3 < MT SL – 1,21 g/cm^3). Značajno povećanje ρ_v

primjenom slame bilježimo na RT (RT – 1,16 g/cm^3 < RT SL – 1,21 g/cm^3) tretmanu. Prema obradi, na malčiranim parcelama, vrijednosti ρ_v su se smanjivale prema sljedećem redoslijedu: CT>RT=MT, a na parcelama bez slame: CT>MT>RT.

Na dubini 10 – 20 cm u jesenskom uzorkovanju najveća izmjerena vrijednost ρ_v zabilježena je na CT (1,37 g/cm^3), a najmanja na MT SL (1,19 g/cm^3). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, primjena slame je značajno smanjila ρ_v kod CT (CT – 1,37 g/cm^3 > CT SL – 1,26 g/cm^3) i MT (MT – 1,30 g/cm^3 > MT SL – 1,20 g/cm^3), dok je relativno smanjenje zabilježeno kod RT (RT – 1,32 g/cm^3 > RT SL – 1,29 g/cm^3). Promatrajući utjecaj obrade na malčiranim parcelama, bilježimo značajno niže vrijednosti na MT tretmanu (1,20 g/cm^3) u odnosu na CT i RT tretmane. Na parcelama bez slame MT tretman bilježi značajno niže vrijednosti u odnosu na CT tretman, dok je RT tretman značajno viši od MT, ali ne i od CT tretmana.



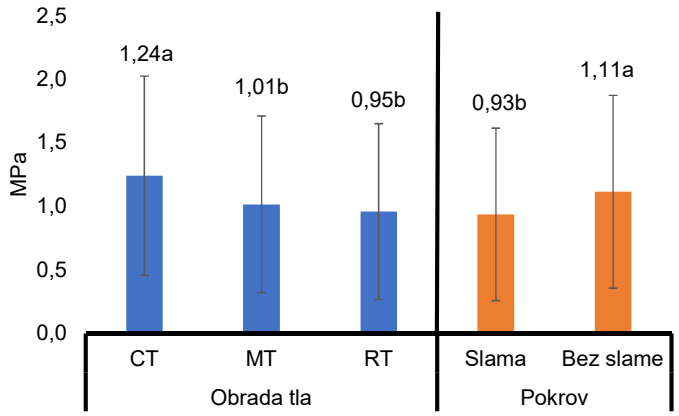


CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 48. Utjecaj obrade tla i pokrova na ρv u jesenskom uzorkovanju (2021.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B)

4.4.2. Mehanički otpor tla u 2021. godini

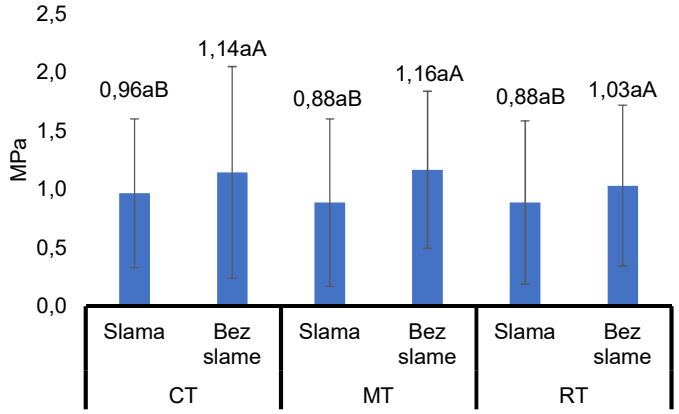
Prosječni godišnji MOP (0 – 20 cm) je iznosio 1,02 MPa, dok se prema vrijednosti koeficijenta varijabilnosti MOP smatra umjereno varijabilnim (USDA, 2017). Zabilježen je značajno manji MOP kod MT (1,01 MPa) i RT (0,95 MPa) tretmana u odnosu na CT (1,24 MPa) tretman. Pojedinačni faktor pokrova zabilježio je značajno manji MOP sa slamom (0,93 MPa) nego bez slame (1,11 MPa) (grafikon 49).



CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike ($p < 0,05$)

Grafikon 49. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na mehanički otpor tla u 2021. godini

Interakcija Obrada × Pokrov bilježi značajan utjecaj na MOP ($p < 0,05$). Najmanja vrijednost MOP utvrđena je na RT tretmanu sa slamom (0,88 MPa), a najveća na CT tretmanu (1,45 MPa). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar svakog pojedinog glavnog tretmana, vidljivo je značajno smanjenje MOP pod slamom u odnosu na tretmane bez slame. Značajno smanjenje MOP zabilježeno je kod CT (CT – 1,14 MPa > CT SL – 0,96 MPa), RT (RT – 1,03 MPa > RT SL – 0,88 MPa) i MT (MT – 1,16 MPa > MT SL – 0,88 MPa) tretmana (grafikon 50). Promatrajući utjecaj obrade na malčiranim parcelama, zabilježeno je relativno smanjenje prema sljedećem redoslijedu: CT > MT = RT. Na parcelama bez slame zabilježeno je relativno smanjenje prema sljedećem redoslijedu: MT > CT > RT.



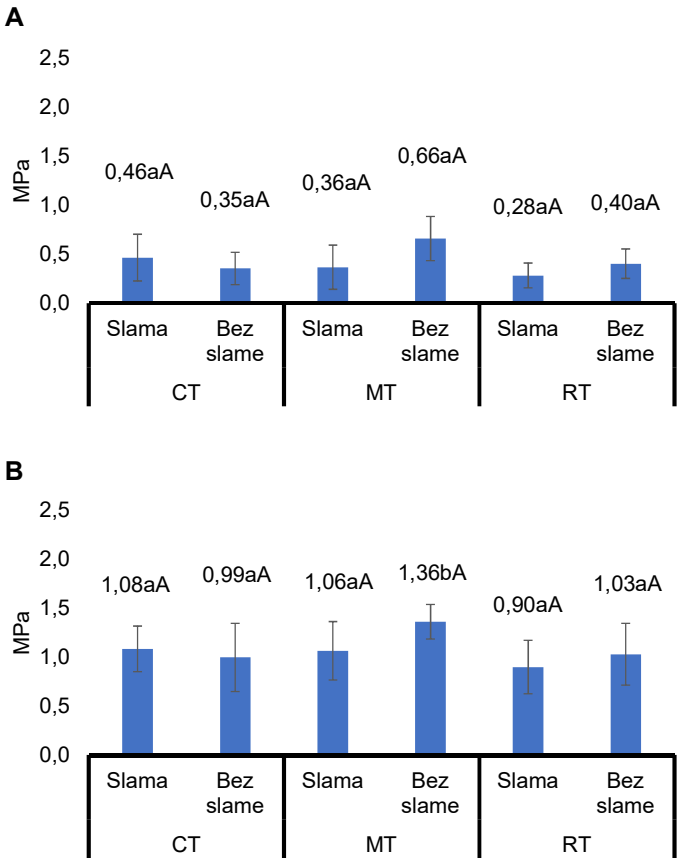
CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 50. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na mehanički otpor tla u 2021. godini

Promjene MOP prema dubini i vremenu uzorkovanja pokazuju značajne razlike u jesenskom uzorkovanju na dubinama od 0 – 10 i 10 – 20 cm, te u proljetnom uzorkovanju (10 – 20 cm). U proljetnom uzorkovanju na dubini 0 – 10 cm nije bilo značajnih razlika.

U proljetnom uzorkovanju na dubini 0 – 10 cm najveća izmjerena vrijednost MOP zabilježena je na MT (0,66 MPa), a najmanja na RT SL (0,28 MPa) (grafikon 51). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, zabilježeno je relativno smanjenje MOP na MT (MT SL – 0,36 MPa < MT – 0,66 MPa) i RT (RT SL – 0,28 MPa < RT – 0,40 MPa) tretmanu primjenom slame. Na CT tretmanu bilježimo relativno povećanje MOP primjenom slame (CT – 0,35 MPa < MT SL – 0,46 MPa). Prema obradi, na malčiranim parcelama, vrijednosti MOP su se nesignifikantno smanjivale prema sljedećem redoslijedu: CT>MT>RT. Na parcelama bez slame, vrijednosti MOP su se relativno smanjivale prema sljedećem redoslijedu: MT>RT>CT.

Na dubini 10 – 20 cm u proljetnom uzorkovanju najveća izmjerena vrijednost MOPzabilježena je na MT (1,36 MPa), a najmanja na RT SL (0,90 MPa). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, primjena slame je relativno smanjila MOP kod RT (RT – 1,03 MPa > CT SL – 0,90 MPa) i MT (MT SL – 1,06 MPa < MT – 1,36 MPa), te je relativno povećala MOP kod CT (CT SL – 1,08 MPa > CT – 0,99 MPa). Prema obradi, na malčiranim parcelama, vrijednosti MOP su se relativno smanjivale prema sljedećem redoslijedu: CT>MT>RT. Na parcelama bez slame, značajno veće MOP vrijednosti imao je MT tretman u odnosu na CT i RT tretmane.



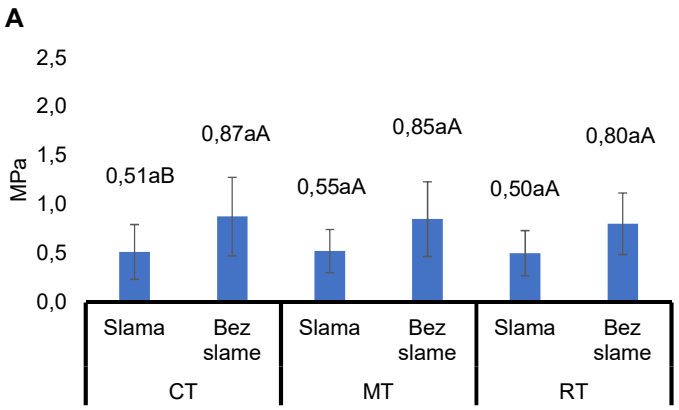
CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

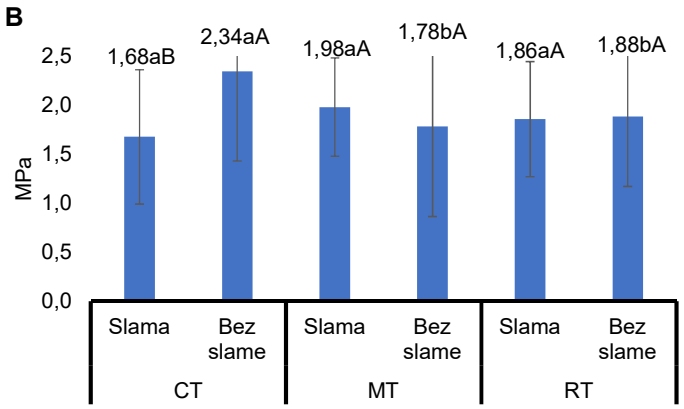
Grafikon 51. Utjecaj obrade tla i pokrova na MOP u proljetnom uzorkovanju (2021.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B)

U jesenskom uzorkovanju na dubini 0 – 10 cm najveća izmjerena vrijednost MOP zabilježena je na CT (0,87 MPa), a najmanja na RT (0,50 MPa) (grafikon 52). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, slama je relativno smanjila MOP kod MT (MT – 0,85 MPa > MT SL – 0,55 MPa) i RT (RT – 0,80 MPa > RT SL – 0,50 MPa), a značajno smanjenje zabilježeno je na CT (CT – 0,87 MPa > CT SL – 0,51 MPa) tretmanu. Prema obradi, na malčiranim parcelama, vrijednosti MOP su se relativno smanjivale prema sljedećem redoslijedu: MT>CT>RT. Na

parcelama bez slame nije bilo značajnih razlika, te su se dobivene vrijednosti smanjivale prema sljedećem redoslijedu: CT>MT>RT.

Na dubini 10 – 20 cm u jesenskom uzorkovanju najveća izmjerena vrijednost MOP zabilježena je na CT (2,34 MPa), a najmanja na CT SL (1,68 MPa). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, primjena slame je značajno smanjila MOP kod CT (CT – 2,34 MPa > CT SL – 1,1,68 MPa). Također, slama je relativno smanjila MOP kod RT (RT SL – 1,86 MPa < RT – 1,88 MPa), a povećala na MT (MT SL – 1,98 MPa > MT – 1,78 MPa). Prema obradi, na malčiranim parcelama, vrijednosti MOP su se smanjivale prema sljedećem redoslijedu: MT>RT>CT, bez značajnih razlika. Na parcelama bez slame bilježimo značajno smanjenje na MT i RT tretmanu u odnosu na CT tretman, te su se dobivene vrijednosti smanjivale prema sljedećem redoslijedu: CT>RT>MT.



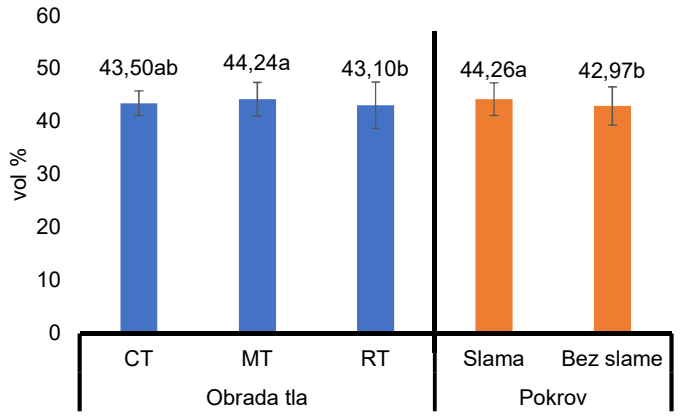


CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 52. Utjecaj obrade tla i pokrova na MOP u jesenskom uzorkovanju (2021.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B)

4.4.3. Retencijski kapacitet tla za vodu u 2021. godini

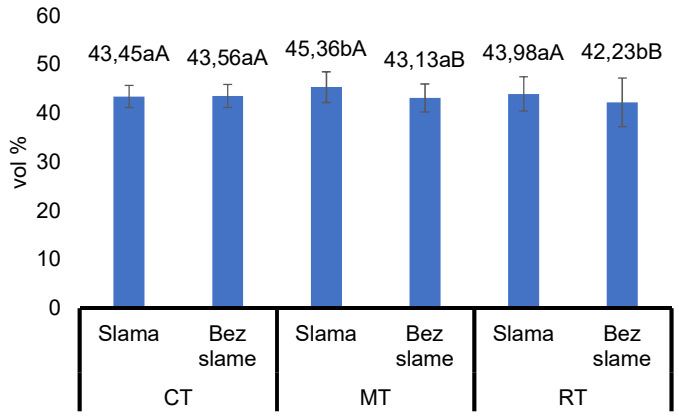
Prosječni godišnji RKV je iznosio 43,61 vol %, dok je vrijednost koeficijenta varijabilnosti iznosila 7,81 vol %. Na grafikonu 53 i 54 vidljiv je značajan utjecaj faktora obrade tla i pokrova, te njihove interakcije. Prema pojedinačnom utjecaju obrade tla zabilježeno je značajno povećanje RKV na MT (44,24 vol %) tretmanu u odnosu na RT (43,10 vol %) tretman, dok u odnosu na CT (43,50 vol %) tretman nije bilo značajnih razlika. Promatrajući pojedinačni faktor pokrova, značajno manji RKV je na tretmanima bez slame (42,97 vol %) nego sa slamom (44,26 vol %) (grafikon 53).



CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike ($p < 0,05$)

Grafikon 53. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na RKV u 2021. godini

Interakcija Obrada × Pokrov bilježi značajan utjecaj na RKV ($p < 0,05$). Najmanja vrijednost RKV utvrđena je na RT tretmanu (42,23 vol %), a najveća na MT SL (45,36 vol %). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar svake obrade, vidljivo je značajno povećanje RKV pod tretmanima s slamom u odnosu na tretmane bez slame. Značajno povećanje RKV zabilježeno je kod MT (MT – 43,13 vol % < MT SL – 45,36 vol %) i RT (RT – 42,23 vol % > RT SL – 43,98 vol %) tretmana, dok je kod CT tretmana rezultat gotovo jednak (CT – 43,56 vol % < CT SL – 43,45 vol %) (grafikon 54). Značajne razlike zabilježene su prema obradi na malčiranim parcelama, gdje MT tretman bilježi značajno veći RKV u odnosu na CT i RT tretmane. Dobivene vrijednosti RKV su se kretale prema sljedećem redoslijedu: MT>RT>CT. Na parcelama bez pokrova RT tretman je zabilježio značajno niže vrijednosti u odnosu na CT i MT tretmane, dobivene vrijednosti RKV kretale su se prema sljedećem redoslijedu: MT>RT>CT.



CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

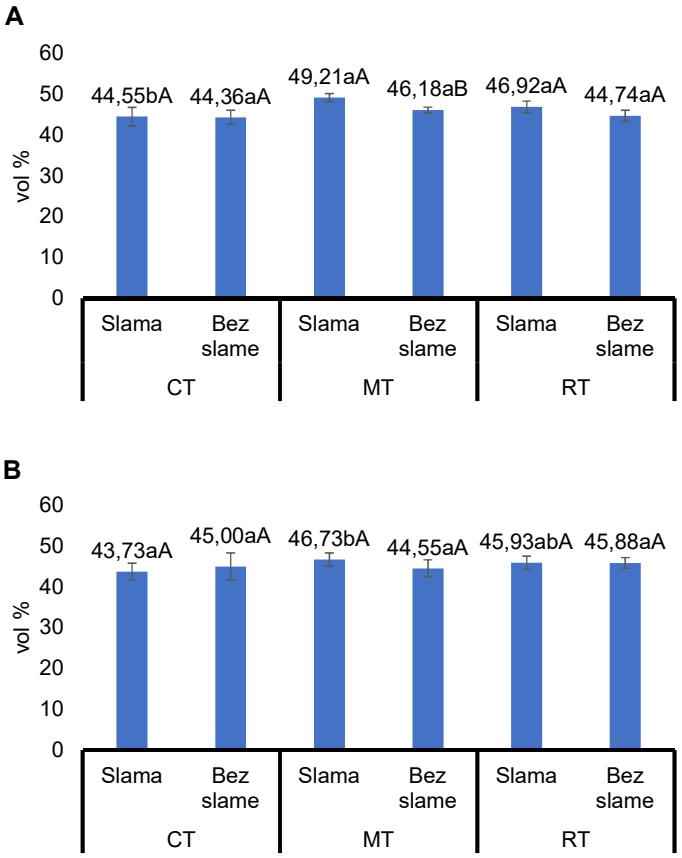
Grafikon 54. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na RKV u 2021. godini

Promjene RKV prema dubini i vremenu uzorkovanja pokazuju značajne razlike u svim uzorkovanjima na obje dubine.

U proljetnom uzorkovanju na dubini 0 – 10 cm najveća izmjerena vrijednost RKV zabilježena je na MT SL (49,21 vol %), a najmanja na CT (44,36 vol %) (grafikon 55). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, zabilježeno je značajno povećanje RKV primjenom slame na MT (MT SL – 49,21 vol % > MT – 46,18 vol %) i relativno na RT (RT – 44,74 vol % < RT SL – 46,92 vol %) iCT (CT SL – 44,55 vol % > CT – 44,36 vol %) tretmanu. Prema obradi, na malčiranim parcelama, značajno veća vrijednost RKV zabilježena je na MT tretmanu u odnosu na CT tretman, te na RT tretmanu u odnosu na CT tretman. Vrijednosti su se smanjivale prema sljedećem redoslijedu: MT>RT>CT. Na parcelama bez slame nije bilo značajnih razlika, te su se dobivene vrijednosti smanjivale prema sljedećem redoslijedu: MT>RT>CT.

Na dubini 10 – 20 cm u proljetnom uzorkovanju najveća izmjerena vrijednost RKV zabilježena je na MT SL (46,73 vol %), a najmanja na CT SL (43,73 vol %). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, primjena slame je relativno povećala RKV kod MT (MT – 44,55 vol % < MT SL – 46,73 vol %), a relativno smanjila na CT (CT SL – 43,73 vol % < CT – 45,00 vol %) tretmanu. Na RT (RT SL – 45,93 vol % > RT – 45,88 vol %) tretmanu su zabilježene podjednake vrijednosti. Prema obradi, na malčiranim parcelama, zabilježeno je značajno povećanje na MT tretmanu u odnosu na CT tretman. Vrijednosti RKV su se smanjivale prema

sljedećem redoslijedu: MT>RT>CT. Na parcelama bez slame nije bilo značajnih razlika, te su se dobivene vrijednosti smanjivale prema sljedećem redoslijedu: RT>MT>CT.



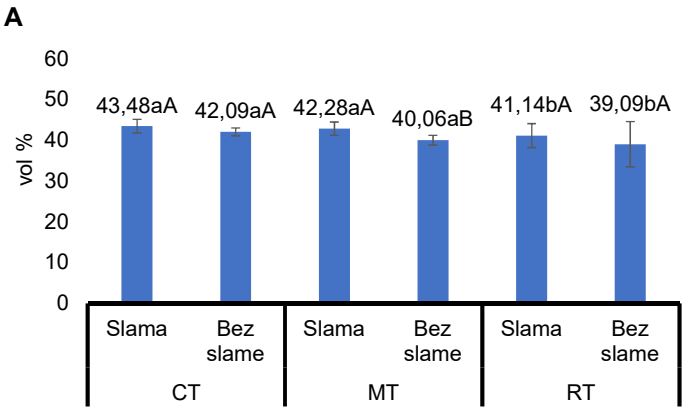
CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

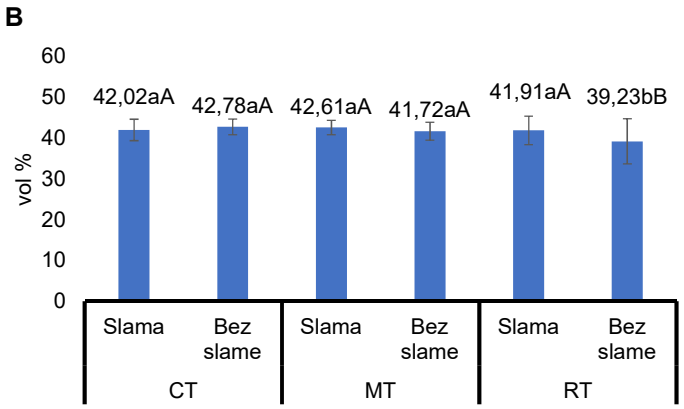
Grafikon 55. Utjecaj obrade tla i pokrova na RKV u proljetnom uzorkovanju (2021.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B)

U jesenskom uzorkovanju na dubini 0 – 10 cm najveća izmjerena vrijednost RKV zabilježena je na CT (43,48 vol %), a najmanja na RT (39,05 vol %) (grafikon 56). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, slama je značajno povećala RKV kod MT (MT – 40,06 vol % < MT SL – 42,28 vol %), a relativno na RT (RT – 39,09 vol % < RT SL – 41,14 vol %) i CT (CT –

42,09 vol % < CT SL – 43,48 vol %) tretmanu. Prema obradi, na malčiranim parcelama, RT tretman bilježi značajno niže vrijednosti RKV u odnosu na MT i CT tretmane, vrijednosti se kreću prema sljedećem redoslijedu: CT>MT>RT. Na parcelama bez slame, RT tretman bilježi značajno niže vrijednosti u odnosu na MT i CT tretmane, a dobivene vrijednosti su se smanjivale prema sljedećem redoslijedu: CT>MT>RT.

Na dubini 10 – 20 cm u jesenskom uzorkovanju najveća izmjerena vrijednost RKV zabilježena je na CT (42,78 vol %), a najmanja na RT (39,23 vol %). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, primjena slame je značajno povećala RKV kod RT (RT – 39,23 vol % < RT SL – 41,91 vol %), te relativno kod MT (MT SL – 42,61 vol % > MT – 41,72 vol %). Prema obradi, na malčiranim parcelama, nisu zabilježene značajne razlike, te su se vrijednosti smanjivale prema sljedećem redoslijedu: MT>CT>RT. Na parcelama bez slame, značajno niže vrijednosti zabilježene su na RT tretmanu u odnosu na MT i CT tretmane. Dobivene vrijednosti smanjivale su se prema sljedećem redoslijedu: CT>MT>RT.



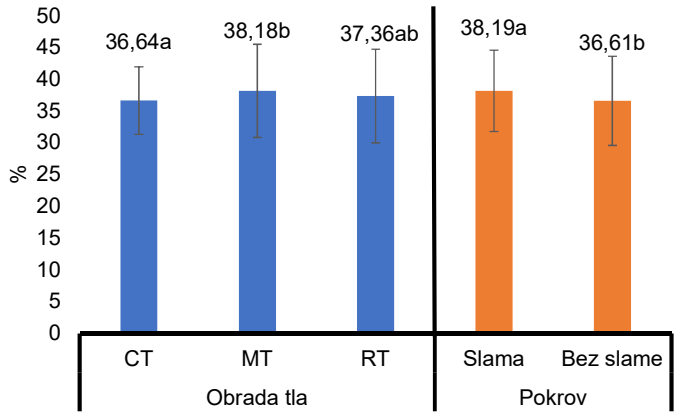


CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 56. Utjecaj obrade tla i pokrova na RKV u jesenskom uzorkovanju (2021.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B)

4.4.4. Trenutačna vlaga u tlu u 2021. godini

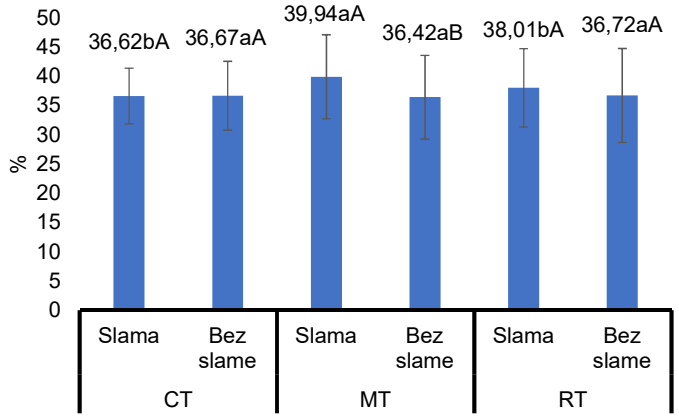
Prosječni godišnji TV je iznosio 37,39 %, dok je vrijednost koeficijenta varijabilnosti iznosila 18,02 %. Na grafikonu 57 i 58 vidljiv je značajan utjecaj pojedinačnih faktora obrade tla i pokrova, te interakcije faktora obrade tla i pokrova. Prema pojedinačnom utjecaju obrade tla MT (38,18 %) tretman je značajno veći od CT (36,64 %) tretmana, dok RT (37,36 %) nije značajno različit od ostalih tretmana. Pojedinačni faktor pokrova zabilježio je značajno manji TV bez slame (36,61 %) u odnosu na parcele sa pokrovom (38,19 %) (grafikon 57).



CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike ($p < 0,05$)

Grafikon 57. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na TV u 2021. godini

Interakcija Obrada × Pokrov bilježi značajan utjecaj na TV ($p < 0,05$). Najmanja vrijednost TV utvrđena je na MT bez slame (36,42 %), a najveća na MT SL (39,94 %). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar svakog pojedinog glavnog tretmana zabilježeno je značajno povećanje TV pod slamom na MT (MT – 36,42 % < MT SL – 39,94 %) i relativno na RT (RT – 36,72 % < RT SL – 38,01 %) tretmanu, dok su kod CT tretmana zabilježene podjednake vrijednosti (CT – 36,67% > CT SL – 36,62 %) (grafikon 58). Promatrajući utjecaj obrade pod malčem, zabilježene su značajno veće vrijednosti na MT tretmanu u odnosu na RT i CT tretman. Dobivene vrijednosti kretale su se prema sljedećem redoslijedu: MT>RT>CT. Na tlu bez pokrova, nije bilo značajnih razlika, te su se dobivene vrijednosti kretale prema sljedećem redoslijedu: RT>CT>MT.



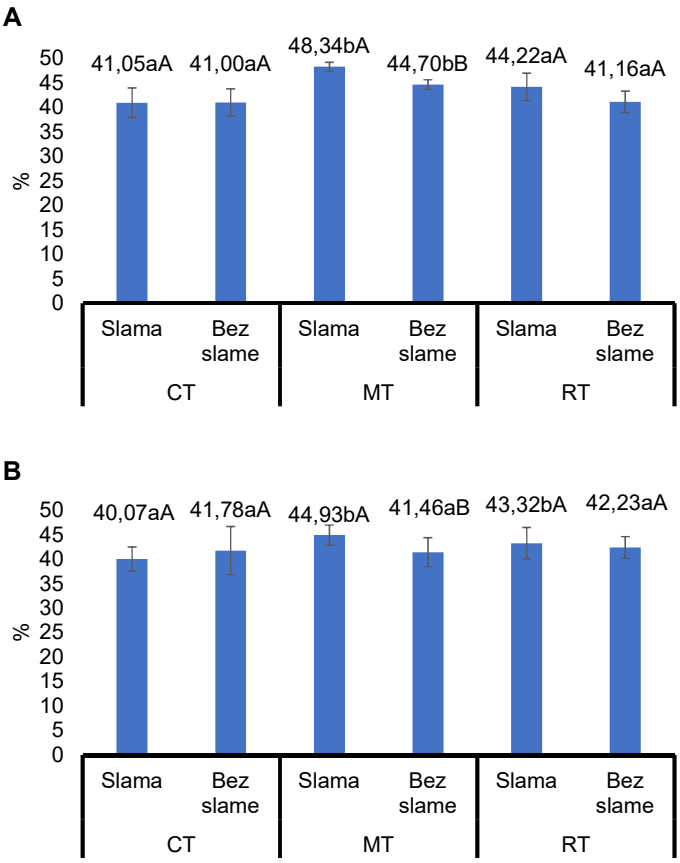
CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 58. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na TV u 2021. godini

Promjene TV prema dubini i vremenu uzorkovanja pokazuju značajne razlike u svim uzorkovanjima na dubinama od 0-10 i 10-20 cm.

U proljetnom uzorkovanju na dubini 0 – 10 cm najveća izmjerena vrijednost TV zabilježena je na MT SL (48,34 %), a najmanja na CT (41,00 %) (grafikon 59). Prema pokrovu, zabilježeno je značajno povećanje TV uslijed malča na MT (MT SL – 48,34 % > MT – 44,70 %), te relativno na RT (RT – 41,16 % < RT SL – 44,22 %) tretmanu. Na CT (CT SL – 41,05 % > CT – 41,00 %) tretmanu zabilježene su slične vrijednosti. Prema obradi, na parcelama sa slamom, MT tretman je zabilježio značajno veće vrijednosti, u odnosu na RT i CT tretmane. Na parcelama bez pokrova, MT tretman zabilježio je značajno veće vrijednosti TV u odnosu na RT i CT tretmane.

Na dubini 10 – 20 cm u proljetnom uzorkovanju najveća izmjerena vrijednost TV zabilježena je na MT SL (44,93 %), a najmanja na CT SL (40,07 %). Prema pokrovu, zabilježeno je značajno povećanje TV na MT (MT SL – 44,93 % > MT – 41,46 %), te relativno na RT (RT SL – 43,32 % > RT – 42,43 %), a na CT (CT – 41,78 % > CT SL – 40,07 %) tretmanu je zabilježeno relativno smanjenje TV pod slamom. Na parcelama sa slamom zabilježena je značajno niža vrijednost TV na CT tretmanu u odnosu na MT i RT tretmane. Promatrajući obradu, na parcelama bez pokrova, zabilježeno je relativno smanjenje vrijednosti TV kako slijedi: RT>CT>MT.



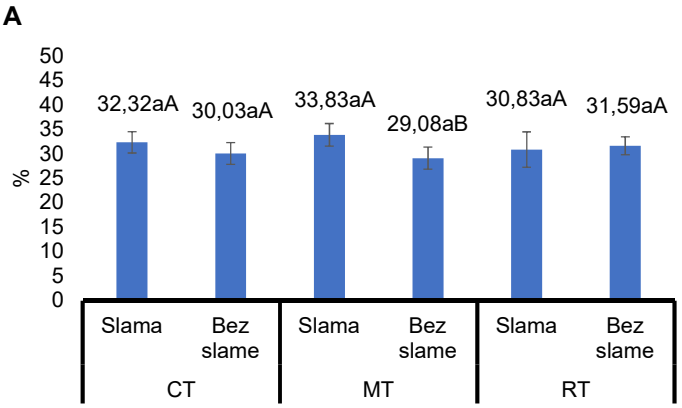
Grafikon 59. Utjecaj obrade tla i pokrova na TV u proljetnom uzorkovanju (2021.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B)

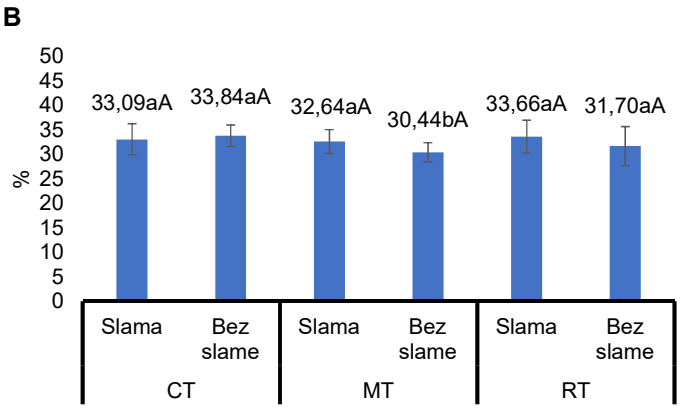
CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

U jesenskom uzorkovanju na dubini 0 – 10 cm najveća izmjerena vrijednost TV zabilježena je na MT SL (33,83 %), a najmanja na MT (29,08 %) (grafikon 60). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, slama je značajno povećala TV kod MT (MT – 29,08 % < MT SL – 33,83 %), a relativno na CT (CT – 30,03 % < CT SL – 32,32 %), a na RT (RT – 31,59 % > RT SL – 30,83 %) tretmanu sa slamom TV je relativno manji. Promatrajući obradu prema pokrovu, na malčiranim tretmanima nije bilo značajnih razlika, a dobivene vrijednosti smanjivale su se

prema sljedećem redoslijedu: MT>CT>RT. Na parcelama bez slame, nije bilo značajnih razlika, te su se dobivene TV vrijednosti smanjivale prema sljedećem redoslijedu: RT>CT>MT.

Na dubini 10 – 20 cm u jesenskom uzorkovanju najveća izmjerena vrijednost TV zabilježena je na RT (33,66 %), a najmanja na MT (30,44 %). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar tretmana, primjena slame je relativno povećala TV kod MT (MT – 30,44 % < MT SL – 32,64 %) i RT (RT SL – 33,66 % > RT – 31,70 %) tretmana. Relativno smanjenje primjenom slame zabilježeno je na CT (CT SL – 33,09 % < CT – 33,84 %) tretmanu. Promatrajući obradu prema pokrovu, na tretmanima s slamom nije bilo značajnih razlika, te su vrijednosti zabilježene prema sljedećem redoslijedu: RT>MT>CT. Na parcelama bez slame, bilježimo značajno niže vrijednosti TV na MT tretmanu u odnosu na CT i RT tretmane.



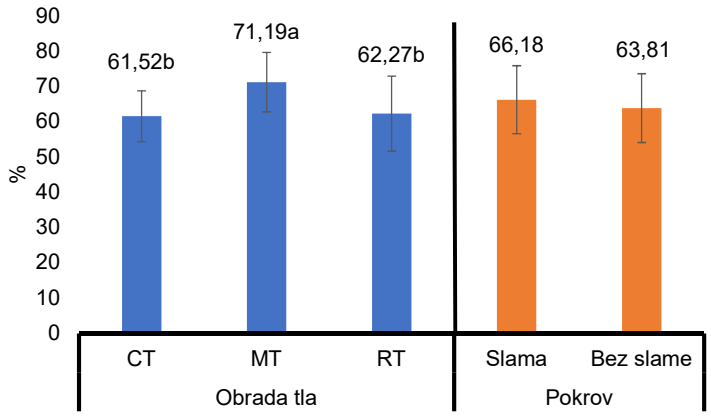


CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 60. Utjecaj obrade tla i pokrova na TV u jesenskom uzorkovanju (2021.) prema dubini 0 – 10 cm (A); 10 – 20 cm (B)

4.4.5. Stabilnost strukturnih agregata u 2021. godini

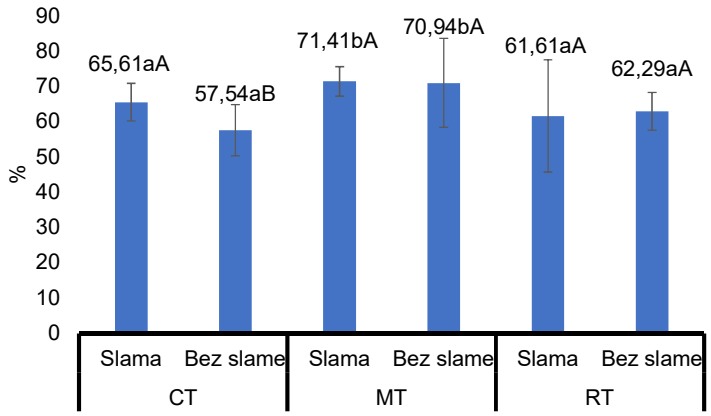
Prosječni godišnji SSA je iznosio 64,99 %, dok je vrijednost koeficijenta varijabilnosti iznosio 14,57 %. Na grafikonu 61 i 62 vidljiv je značajan utjecaj, pojedinačnog faktora obrade tla, te interakcije obrade tla i pokrova. Prema pojedinačnom utjecaju obrade tla zabilježene su značajno veće SSA vrijednosti na MT tretmanu u odnosu na CT i RT tretman, a njihove vrijednosti su kako slijedi: MT (71,19 %) > RT (62,27 %) > CT (61,52 %) (grafikon 61). Pojedinačni faktor pokrova zabilježio je relativno manji SSA bez slame (63,81 %) nego sa slamom (66,18 %) (grafikon 61).



CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike ($p < 0,05$)

Grafikon 61. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na na stabilnost strukturnih agregata u 2021. godini

Interakcija Obrada × Pokrov bilježi značajan utjecaj na SSA. Najmanja vrijednost SSA utvrđena je na CT (57,54 %), a najveća na MT SL (71,41 %). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar svakog pojedinog glavnog tretmana zabilježeno je značajno povećanje SSA pod slamom kod CT (CT – 57,54 % < CT SL – 65,51 %), te relativno na MT (MT – 70,94 % < MT SL – 71,41 %) tretmanu. Na RT (RT – 62,29 % > RT SL – 61,61 %) tretmanu zabilježeno relativno smanjenje pod slamom (grafikon 62). Promatrajući utjecaj obrade pod malčem, značajno veću vrijednost bilježi MT tretman u odnosu na CT i RT tretmane. Na tlu bez pokrova, značajno veću vrijednost bilježi MT tretman u odnosu na CT i RT tretmane.

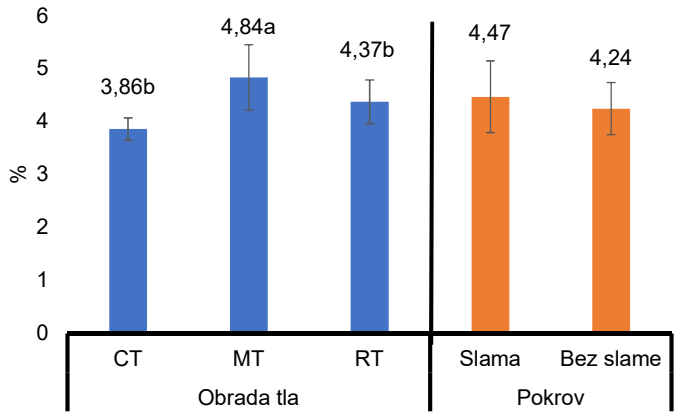


CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 62. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na stabilnost strukturnih agregata u 2021. godini

4.4.6. Organska tvar u tlu u 2021. godini

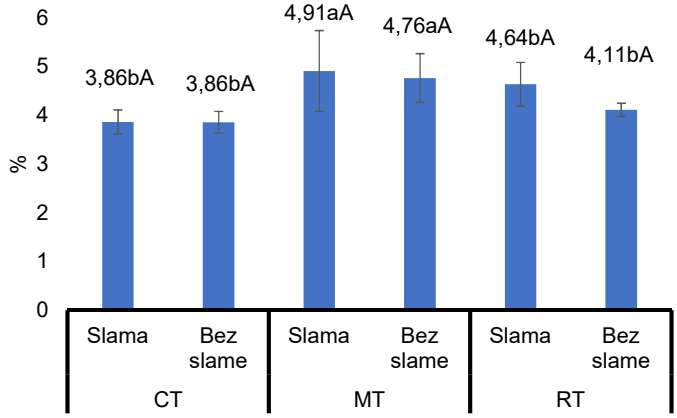
Prosječna vrijednost OT je iznosila 4,43 %, dok je vrijednost koeficijenta varijabilnosti iznosila 13,30 %. Prema pojedinačnom utjecaju obrade tla MT tretman zabilježio je značajno veće vrijednosti u odnosu na RT i CT tretmane. Njihove vrijednosti navedene su kako slijedi: MT (4,84 %) > RT (4,37 %) > CT (3,86 %) (grafikon 63). Pojedinačni faktor pokrova zabilježio je manju OT bez slame (4,24 %) nego sa slamom (4,47 %).



CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike ($p < 0,05$)

Grafikon 63. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na sadržaj organske tvari u tlu u 2021. godini

Interakcija Obrada × Pokrov bilježi značajan utjecaj na OT. Najmanja vrijednost OT utvrđena je na CT tretmanu (3,86 %), a najveća na MT SL (4,91 %). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar svakog pojedinog glavnog tretmana, zabilježeno je relativno povećanje OT pod slamom kod MT (MT – 4,76 % < MT SL – 4,91 %) i RT (RT – 4,11 % < RT SL – 4,64 %) tretmana, dok kod CT (CT – 3,86 % = CT SL – 3,86 %) tretmana, nije bilo razlike (grafikon 64). Promatrajući utjecaj obrade pod malčem, značajno veće vrijednosti zabilježene su na MT tretmanu u odnosu na CT i RT tretmane. Na tlu bez pokrova, značajno veće vrijednosti zabilježene su na MT tretmanu u odnosu na CT i RT tretmane.

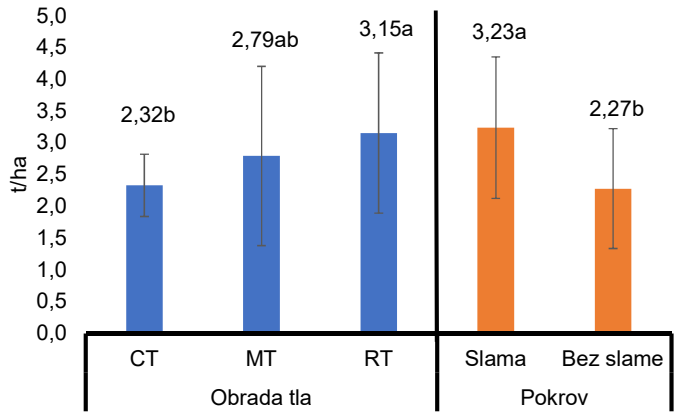


CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 64. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na sadržaj organske tvari u tlu u 2021. godini

4.4.7. Prinos jare pšenice u 2021. godini

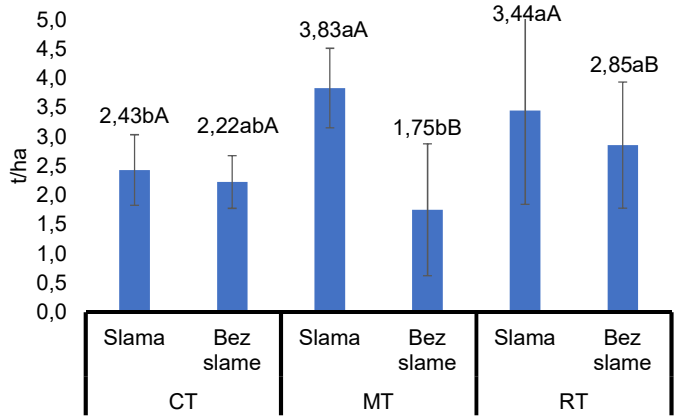
Prosječna vrijednost prinosa jare pšenice je iznosila 2,75 t/ha, dok je vrijednost koeficijenta varijabilnosti iznosila 40,36 %. Na grafikonu 65 i 66 vidljiv je značajan utjecaj, pojedinačnih faktora obrade tla i pokrova, te interakcije obrade tla i pokrova. Prema pojedinačnom utjecaju obrade tla RT tretman (3,15 t/ha) je značajno veći od CT tretmana (2,32 t/ha), dok oba tretmana u odnosu na MT tretman (2,79 t/ha) nisu zabilježili značajne razlike (grafikon 65). Pojedinačni faktor pokrova zabilježio je značajno veći prinos sa slamom (3,23 t/ha) nego bez slame (2,27 t/ha).



CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike ($p < 0,05$)

Grafikon 65. Utjecaj pojedinačnog faktora obrade tla (lijevo) i pokrova (desno) na prinos jare pšenice u 2021. godini

Interakcija Obrada × Pokrov bilježi značajan utjecaj na prinos jare pšenice. Najmanji prinos utvrđen je na MT (1,75 t/ha), a najveći na MT SL (3,83 t/ha). Uspoređujući utjecaj pokrova unutar svakog pojedinog tretmana zabilježeno je relativno povećanje prinosa na parcelama sa slamom na CT (CT – 2,22 t/ha < CT SL – 2,43 t/ha) tretmanu, dok je na tretmanima MT (MT – 1,75 t/ha < MT SL – 3,83 t/ha) i RT (RT – 2,85 t/ha < RT SL – 3,44 t/ha) zabilježeno značajno povećanje pod slamom (grafikon 66). Promatrajući utjecaj obrade pod malčem, zabilježene su značajno veće vrijednosti na RT i MT tretmanu u odnosu na CT tretman. Na tlu bez pokrova, značajno veće vrijednosti zabilježene su na RT tretmanu u odnosu na MT tretman, dok se CT tretman nije značajno razlikovao prema ostalim tretmanima.



CT – konvencionalna obrada tla; MT – minimalna obrada tla; RT – reducirana obrada tla; okomite crte na svakom stupcu označavaju standardnu devijaciju; različita mala tiskana slova prikazuju značajne razlike između obrade, a različita velika tiskana slova između pokrova ($p < 0,05$)

Grafikon 66. Utjecaj interakcije Obrada × Pokrov na prinos jare pšenice u 2021. godini

5. RASPRAVA

5.1. Volumna gustoća tla

Prema prosječnim vrijednostima kroz sve godine istraživanja volumna gustoća tla zadržala se unutar niskih graničnih vrijednosti prema Hazelton i Murphy (2007). Analizirajući podatke jednofaktorijalnom analizom varijance utvrđen je značaj učinak faktora obrade tla kroz sve godine istraživanja. Drugi primijenjeni faktor (pokrov) jednofaktorijalnom analizom varijance, nije zabilježio značajne razlike u prve dvije godine istraživanja, već samo u zadnjoj godini. Navedeno potvrđuje činjenicu da je potrebno više godina kako bi se ostvarile pozitivne promjene prilikom korištenja mrtvog malča (Jug i sur., 2017). Zanimljivo, interakcijski utjecaj (obrada tla x pokrov) zabilježio je značajne razlike kroz prve dvije godine istraživanja, ali u trećoj godini nije bilo značajnih razlika. Vremenska varijabilnost ρv potvrđena je u ovom istraživanju, gdje je kroz sve godine vidljiva manja volumna gustoća tla u proljetnom uzorkovanju odnosu na jesensko uzorkovanje (0 – 10; 10 – 20 cm) (grafikon 3, 4, 25, 26, 47, 48), što je suprotno prema Tiarks i sur. (1974) na tlu iste teksture, ali sukladno Bogunović i sur. (2018a) i Li i sur. (2019). U prvoj istraživačkoj godini (2019.) zabilježene su značajne razlike između pojedinog faktora obrade tla, pri kojem je RT tretman ostvario najniže vrijednosti volumne gustoće tla (grafikon 1). Trend značajnog smanjenja volumne gustoće tla na RT tretmanu nastavio se kroz naredne dvije istraživačke godine (2020; 2021) (grafikon 23, 45) u odnosu na CT tretman. U posljednjoj istraživačkoj godini bilježimo najmanju ρ_v na MT tretmanu, značajno nižu od CT tretmana, ali ne i od RT tretmana (grafikon 45). U uvjetima kada su klimatske vrijednosti bile slične dugogodišnjim prosječnim vrijednostima, ukazuje na činjenicu da je plićoj obradi potrebno dulje vrijeme primjene kako bi se ispravio nepovoljni utjecaj dugogodišnjeg oranja, dok duboka vertikalna obrada tla može ostvariti pozitivne promjene ρ_v odmah nakon primjene (Wang i sur., 2019). No sama vertikalna obrada nije nužno dovoljna, primjerice na glinastoj ilovači Ordoñez-Morales i sur. (2019) plitkom vertikalnom obradom (rovilo do 16 cm) nisu zabilježili značajne razlike ρ_v u odnosu na CT (oranje do 20 cm), kao ni Jabro i sur. (2016) na pjeskovitoj ilovači između kultivacije (do 10 cm) i podrivanja (do 30 cm). Uključivanje zahvata podrivanja sa većinom drugih zahvata obrade tla pokazalo se vrlo uspješno u postizanju povoljnih fizikalnih svojstava u odnosu na konvencionalni pristup oranjem što je potvrđeno i u drugim studijama (npr. Carter i sur., 2002; Vetsch i sur., 2007). Podrivanje koji duboko rahli tlo, predstavlja efikasno rješenje smanjenja volumne gustoće tla. Istraživanja koja su sadržavala zahvat podrivanja ili koristila kombinirana oruđa sa podrivačem, ostvarila su niže ρ_v u odnosu na konvencionalne zahvate tla, kao što je primjerice kod Bogunović i sur. (2018). Prema rezultatima utjecaja pojedinačnog faktora pokrova, tlo bez

pokrova u prvoj istraživačkoj godini bilježi značajno niže vrijednosti ρ_v u odnosu na tlo slamom (grafikon 1). U drugoj istraživačkoj godini nije bilo značajnih razlika (grafikon 23), ali je zabilježen trend pada vrijednosti ρ_v na tlu bez i sa slamom. U trećoj istraživačkoj godini zabilježeno je daljnje smanjenje ρ_v, ali i značajno manja vrijednost ρ_v na tlu sa slamom u odnosu na tlo bez pokrova (grafikon 45). U prvoj godini istraživanja pojedinačni faktor pokrova nije zabilježio značajnu razliku, što se moglo i očekivati s obzirom da je potrebno da prođe više godina kako bi se ostvario pozitivan učinak, kao što sugerira Mulumba i Lal (2008). Navedeno je potvrđeno u trećoj godini istraživanja sa značajno manjim ρ_v primjenom slame. Također, u literaturi su zabilježeni oprečni rezultati primjene pokrova, ovisno o tipu malča, klimatskim uvjetima, načinu gospodarenja tlom i količini malča (Jordán i sur., 2010). Mupangwa i sur. (2013) ukazuju da je na glinastoj ilovači potrebno i četiri godine do ostvarivanja pozitivnog učinka primjene malča. Interakcijom faktora obrada x pokrov na ρ_v u prvoj istraživačkoj godini RT i RT SL tretmani su zabilježili značajno manje vrijednosti u odnosu na preostale tretmane (grafikon 2), u narednoj istraživačkoj godini RT SL tretman jedini bilježi značajno manje vrijednosti ρ_v u odnosu na ostale tretmane sa slamom, dok je u trećoj godini istraživanja značajan utjecaj RT SL tretmana izostao. Navedeni efekt nije očekivan, s obzirom da se svake godine primijenilo podrivanje, jer je poznato da djelovanje podrivanja ne traje dulje od 1 ili 2 godine (Diaz-Zorita i sur., 2002; Zimmer i sur., 2009). Prema rezultatima utjecaja obrade tla i pokrova u proljetnom uzorkovanju na dubini 0 – 10 cm u prvoj istraživačkoj godini najniže vrijednosti zabilježene su na RT i RT SL tretmanu, i to značajno niže na RT SL tretmanu u usporedni sa drugim tretmanima sa slamom (grafikon 3), nadalje RT i RT SL u sljedećoj istraživačkoj godini bilježe značajno niže vrijednosti ρ_v u odnosu na CT i CT SL tretmane (grafikon 25). U zadnjoj istraživačkoj godini MT SL i RT SL bilježe značajno niže vrijednosti ρ_v u odnosu na CT SL, dok CT tretman bez slame bilježi najniže vrijednosti ρ_v u odnosu na ostale tretmane bez slame. Na dubini 10 – 20 cm u prvoj istraživačkoj godini nije bilo značajnih razlika, dok je u drugoj istraživačkoj godini slama povećala ρ_v na CT SL u odnosu na CT tretman bez slame razlog može biti u većoj aktivnosti gujavica potaknutih većim temperaturama golog tla u toplijem dijelu godine (2020.) (Eriksen-Hamel i sur., 2006). Treća istraživačka godina nije zabilježila značajne razlike između tretmana. Prema rezultatima utjecaja obrade tla i pokrova u jesenskom uzorkovanju na dubini 0 – 10 cm u prvoj i drugoj godini istraživanja nije bilo značajnih razlika u vrijednosti ρ_v između tretmana, dok u trećoj istraživačkoj godini RT bez slame bilježi značajno niže vrijednosti ρ_v u odnosu na ostale tretmane. Na dubini 10 – 20 cm u prvoj istraživačkoj godini nije bilo značajnih razlika između tretmana, dok je u drugoj godini istraživanja MT SL zabilježio značajno veću vrijednost u odnosu na ostale tretmane sa slamom. U trećoj godini istraživanja CT SL i MT SL su značajno smanjili ρ_v u odnosu na tretmane bez slame. Zabilježeno je povećanje ρ_v sa dubinom u svim

terminima uzorkovanja, ali navedena pojava poznata je i široko istraživana od brojnih autora, koji su utvrdili vertikalno povećanje bez obzira na tip tla ili klimatske uvjete (Filipovic i sur., 2006; Botta i sur., 2009; Blanco-Canqui i Ruis, 2018; Keller i sur., 2019; Li i sur., 2020).

Sagledavajući cjelokupno istraživanje prisutan je trend prosječnog smanjenja ρ_v kroz cijeli pokus, no važno je istaknuti kako je CT tretman, u većini slučajeva bilježio najviše vrijednosti. U konvencionalnoj obradi sa zadržavanjem malča neznatno se smanjila ρ_v tek u trećoj godini istraživanja. Nakon 3-godišnjeg istraživanja na pjeskovitoj ilovači Sadiq i sur. (2021) bilježe značajno smanjenje ρ_v primjenom malča uz konvencionalnu obradu tla. Navedeno se može povezati sa unosom organske tvari (malča) oranjem, te formiranjem makroagregata kojima se smanjuje ρ_v. S druge strane primjenom reduciranih metoda (MT i RT), moguće je ostvariti smanjivanje ρ_v od početka primjene. Međutim prema rezultatima ovog istraživanja, između dvaju reduciranih sustava, RT tretman je prikladan ako se primjenjuje svake godine, dok je efekt primjene MT tretmana dulji. Gledajući širu sliku MT tretman sadrži jedan proljetni zahvat pliće obrade, što doprinosi teoriji da se smanje prohodi mehanizacije, a time uz smanjenje ρ_v imamo i energetsku uštedu (Keller i sur., 2019). Utjecaj MT i RT tretmana temeljnih na vertikalnoj obradi i primjeni malča, omogućuje povećanja poroznosti, stvaranje organske tvari, povećanje stabilnosti agregata, koji utječu na smanjenje ρ_v (Głąb i Kulig, 2008; Mupangwa i sur., 2013).

5.2. Mehanički otpor tla

Kako bi se utvrdila zbijenosti tla, najčešće se koristi penetrometar koji „imitira“ prodiranje razvoja korijena biljke te su utvrđuje PR. Najčešće se koristi u kombinaciji sa ρ_v, no kako bi umanjili mogućnost donošenja pogrešnih zaključaka potrebno je pratiti TV (Unger i Jones, 1998). Prosječna godišnja vrijednost po svim tretmanima i za svaku godinu istraživanja, bila je ispod granica koje bi onemogućavala normalan rast i razvoj biljke (Taylor i Gardner, 1963; López-Garrido i sur., 2014).

U prvoj godini istraživanja (2019.) obrada tla nije značajno utjecala na MOP, no konzervacijski sustavi obrade tla (MT i RT) u naredne dvije istraživačke godine bilježe značajno smanjenje MOP u odnosu na CT tretman. Pozitivan utjecaj RT tretmana na MOP tijekom istraživanja potvrda je pozitivnog djelovanja rahljenja koje je zabilježeno i u drugim tlima i u drugim klimatskim zonama (Dekemati i sur., 2021; Tiwar i sur., 2022), važno je spomenuti i MT tretman sa plićim rahljenjem koji je također pokazao značajno smanjenje MOP u odnosu na CT, te zbog svojih povoljnih rezultata u raznim klimatskim uvjetima, i manjim prilagodbama na

priključcima na primjerice teškim tipovima tala (Kovács i sur., 2023). Uspoređujući pojedinačni faktor pokrova slama je u prvoj godini istraživanja doprinijela značajnom smanjenju MOP u odnosu na tlo bez pokrova. U drugoj godini je zabilježeno relativno smanjenje MOP na tlu sa slamom, a u trećoj istraživačkoj godini bilježimo ponovno značajno smanjenje MOP na tlu sa slamom u odnosu na tlo bez pokrova. Pozitivan učinak pokrova odnosno slame u primjerice godini sa iznad prosječnim padalinama (2019) vidljiv je kroz konzervaciju vlage, odnosno smanjenje evaporacije koja doprinosi povećanju vrijednosti TV, što je također ostvareno u ovom istraživanju, te smanjenom kinetičkom djelovanju kapljica kiše na strukturu tla, a sve prethodno navedeno omogućuje manji MOP. Primjena malča nakon kontinuirane primjene kroz trogodišnje istraživanje rezultirala je smanjenjem MOP, što je u skladu sa preporukama da se pozitivan utjecaj primjene malča vidi tek kroz dugogodišnju primjenu (Jabran, 2019). Fan i sur. (2018) na tlima sa visokim sadržajem organske tvari i visokom strukturnom stabilnošću agregata u jednoj istraživačkoj godini ne bilježe značajno smanjenje MOP. Općenito, sa porastom količine primijenjenog malča raste i vjerojatnost za smanjenjem MOP. Također na glinastim tlima potrebno je dugotrajnije primjenjivanje malča za smanjenje MOP, nego na pjeskovitim tlima (Blanco-Canqui i Lal, 2009). U interakcijskom utjecaju pokrova s obradom, već u prvoj godini istraživanja, gdje je zabilježeno značajno smanjenje na CT SL i RT SL tretmanima u odnosu na navedene tretmane bez slame, u drugoj godini trend smanjenja MOP nastavio se na RT i RT SL tretmanu u usporedbi sa preostalim tretmanima, te u trećoj istraživačkoj godini RT SL bilježi relativno najmanji MOP u odnosu na druge tretmane, ali značajnim smanjenjem na RT SL u odnosu na RT tretman. Unos slame podrivanjem ubrzao je djelovanje mikroorganizama u njenom raspadanju, a kao nusproizvod metaboličkog procesa nastaju polisaharidi koji djeluju kao vezivni materijal u formiranju stabilnih agregata, a time da smanjuju MOP (Fan i sur., 2018). Interakcija faktora obrada x pokrov praćena po dubini 0 – 10 cm u proljetnom uzorkovanju, bilježi relativno smanjenje MOP na CT SL, RT SL, MT SL u odnosu na tretmane bez slame kroz sve, ali zanimljivo bilježi i značajno smanjenje primjenom pokrova na CT tretmanu. Na dubini od 0 do 10 cm nisu uobičajene značajne razlike između CT i konzervacijskih sustava obrade, kao što bilježe Kuhwald i sur. (2016), te Đekemati i sur. (2021) na praškastoj ilovači te Bogunović i sur. (2019) na glinastoj ilovači. S druge strane na praškastoj ilovači u trogodišnjem istraživanju Sartori i sur. (2022) bilježe značajne razlike između CT tretmana i kultivacije do 15 cm u sličnim pedološkim uvjetima kao i ovo istraživanje, u zoni od 10 cm. U proljetnom uzorkovanju na dubini 10 – 20 cm u prvoj godini zabilježen je pozitivan utjecaj na svim tretmanima sa pokrovom (CT SL; MT SL; RT SL) u odnosu na parcele bez pokrova. Pozitivan trend utjecaja slame u drugoj istraživačkoj godini zabilježen je samo na RT tretmanu, dok se u trećoj istraživačkoj godini relativni trend smanjenja MOP zabilježio na oba konzervacijska tretmana

(MT; RT). Značajno niže vrijednosti MOP na tretmanima koji imaju pokrivenost preko 30 % u proljetnim uzorkovanjima u odnosu na CT tretmane na dubini 10 – 20 cm bilježi na praškastoj ilovači Đekemati i sur. (2021). Nadalje, Sartori i sur. (2022) bilježe kontradiktorne rezultate, odnosno značajno veći MOP sa plitkom kultivacijom u odnosu na CT tretman na dubini od 10 do 20 cm. U jesenskom uzorkovanju u prvoj istraživačkoj godini na dubini 0 do 10 cm nije bilo značajnih razlika između tretmana, tek u drugoj godini slama (CT SL) je povećala značajno MOP na CT tretmanu, da bi u trećoj godini na CT SL zabilježili značajno smanjenje u odnosu na CT tretman. S obzirom da je u toj istraživačkoj godini bio usjev kukuruza, a unutar pokusa zabilježene su štete i prolasci divlje svinje (*Sus scrofa*), svojim prolaskom i traženjem klipova kroz parcele sa slamom mogle su doprinijeti povećanju MOP (Bueno i sur. 2013). Na konzervacijskim tretmanima nije bilo značajnih razlika kroz trogodišnje istraživanje. Na dubini 10 – 20 cm, u prvoj godini izostao je učinak konzervacijskih mjera, a u drugoj godini bilježimo značajno smanjenje MOP na CT SL u odnosu na CT tretman, te relativno smanjenje MOP na MT SL i RT SL tretmanima. U trećoj godini nastavljen je trend smanjenja MOP na CT SL tretmanu u odnosu na CT tretman, ali bez značajnih razlika na MT i RT tretmanima. Na praškastoj ilovači na 10 – 20 cm, samo duboka kultivacija (>22 cm) bilježi značajno smanjenje MOP u odnosu na CT (Đekemati i sur., 2021).

Usporedbe i promjene između dubina i vremena uzorkovanja ovdje nisu obrazlagane, s obzirom da je mnogo istraživača dokazalo povećanje MOP sa dubinom (Tormena i sur., 2017; Fashi i sur., 2019; Bogunović i sur., 2019) zbog prirodno zbijenih dubljih slojeva u kojima je zbog gravitacijskog pritiska veći MOP u sloju ispod u odnosu na onaj iznad (Campbell i O'Sullivan, 1991), te promjene između proljetnog i jesenskog uzorkovanja, koje su pod značajnim utjecajem padalina i konsolidacije tla (Đekemati i sur., 2021).

Ukupno gledano vertikalna obrada tla, može ostvariti pozitivan utjecaj na smanjenje MOP na praškasto ilovasto glinastim tlima, ali uz ostavljanje malča i višegodišnje pridržavanje provođenja takve prakse. Na taj način u prosječnim i sušnim godinama, izbjeći ćemo gubitak TV, te zadržati organsku tvar na razinama potrebnim za provođenje održivih sustava proizvodnje, o ćemu će biti više u narednim poglavljima.

5.3. Retencijski kapacitet tla za vodu

Promatrajući pojedinačni faktor obrade tla, u prvoj godini nije bilo značajnih razlika između tretmana. U drugoj istraživačkoj godini bilježimo značajno povećanje RKV na MT i RT tretmanima u odnosu na CT tretmane, iako je poznato da organska tvar i stabilnost strukturnih agregata utječu na RKV, u ovom istraživanju navedeni parametri ne prate značajno porast RKV na sami faktor obrade tla. U trećoj godini najveću značajnu vrijednost bilježimo na MT

tretmanu u odnosu na RT tretman. Plitkom obradom na praškastoj glinastoj ilovači moguće je značajno poboljšati RKV. Na teškoj glini Hati i sur. (2014) ne bilježe značajne razlike između CT tretmana i vertikalne obrade tla nakon desetogodišnje obrade tla.

Pojedinačni faktor pokrova u prvoj godini nije bilježio značajne razlike, ali u nastavku istraživanja primjena pokrova slame značajno je povećala RKV u odnosu na nepokriveno tlo. Porast RKV korištenjem malča u skladu je i sa preglednom analizom Abdallah i sur. (2021), te ukazuje pozitivan utjecaj dugotrajnom primjenom.

Prateći interakciju faktora obrade i pokrova, već u prvoj godini bilježimo značajno veće vrijednosti RKV na MT i RT tretmanima sa pokrovom u odnosu na CT tretman. Navedeni pozitivan utjecaj nastavljen je i u drugoj godini, dok je pozitivan značajan trend nastavljen na MT tretmanu sa pokrovom. Prema dobivenim trendovima, vidljiv je pozitivan učinak organske tvari, koja pod slamom maksimizira svoje hidrofilna svojstva vezujući vodu na sebe i polako ju otpuštajući po potrebi (Busari i sur., 2015). Sa povećanjem organske tvari za 1 % možemo povećati RKV do 5 %, ovisno o teksturi tla (Masood i Ali, 2023). Nadalje, uska povezanost SSA sa RKV pokazala je značajan utjecaj na MT tretmanu gdje je ostvaren najviši SSA, čime je povezan pozitivan utjecaj ostavljanja malča i primjene plitke obrade bez okretanja tla, kojom se povećala strukturna stabilnost tla. Izostanak pozitivnog učinka pokrova uz zahvat jesenskog oranja, primijećen kroz sve faktore, zabilježili su i Blanco-Canqui i Lal (2009).

Na dubini do 10 cm u prvoj godini CT tretman bilježi prosječno veću vrijednost u odnosu na ostale parametre, ali nadalje u jesenskom uzorkovanju nije bilo značajnih razlika između parametara. U drugoj godini istraživanja MT tretman sa slamom bilježi značajno veće vrijednosti RKV u proljetnom i jesenskom uzorkovanju, trend je nastavljen u trećoj godini u proljetnom mjerenju, dok je u jesenskom mjerenju RT tretman sa slamom zabilježio značajno veći RKV. Nadalje, na dubini od 10 do 20 cm, nije bilo značajnih razlika između tretmana kroz istraživački period, što je moguće zbog slabog utjecaja SSA na dubinama ispod 10 cm (Alvarez i Steinbach, 2009). Nedostatak značajnih razlika na dubinama ispod 10 cm, također leži u izostanku utjecaja konzervacijske obrade na organsku tvar ispod 10 cm (Abdullah i sur., 2021).

5.4 Trenutačna vlažnost tla

Za TV vrijede isti pozitivni učinci ostvareni primjenom malča i smjernica konzervacijske obrade tla, kao i kod RKV. Prema utjecaju pojedinačnog faktora obrade tla, u prvoj godini nije bilo značajnih razlika između tretmana što je sukladno istraživanju na praškastoj ilovači gdje Romaneckas i sur. (2009) ne bilježe značajne razlike između vrijednosti TV. Kao i u

prethodnim slučajevima, navedeno potvrđuje potrebu za provođenjem višegodišnjih istraživanja kako bi se postigli relevantni rezultati u ispitivanju fizikalnih karakteristika tla (Gruber i sur., 2011). Nadalje, u drugoj istraživačkoj godini bilježimo značajno povećanje vrijednosti TV na MT i RT tretmanima u odnosu na CT tretmane, a navedeno se može povezati i sa značajnim smanjenjem MOP na navedenim tretmanima u odnosu na CT tretman, što je sukladno istraživanju Wang i sur. (2019) na ilovastom tlu. Pozitivan trend nastavljen je i u trećoj godini na MT tretmanu. Plitka obrada značajno je smanjila MOP i ρ_v, te omogućila bolju infiltraciju vode, te time značajno povećala TV (He i sur., 2018). Pojedinačni faktor pokrova u prvoj godini nije zabilježio značajne razlike između primjene slame i tla bez pokrova. Kroz iduće dvije istraživačke godine slama je značajno povećala TV u odnosu na tlo bez pokrova. Pozitivan utjecaj primjene mlača općenito je zabilježen i u drugim istraživanjima (Oorts i sur., 2007a), posebice u aridnim uvjetima (Kader i sur., 2017), ali u uvjetima prosječnih oborina na glinastoj ilovači navedeni efekt je izostao (Bogunović i sur., 2023). Također, neizostavan je utjecaj količine i vrste malča na povećanje TV (Akhtar i sur., 2018).

Promatrajući interakciju faktora obrada x pokrov, u prvoj godini vidljivo je značajno povećanje TV zbog utjecaja plitke vertikalne obrade sa primjenom slame (MT SL) u odnosu na preostale tretmane, što nije u skladu sa istraživanjem Slawinski i sur. (2012) na ilovastom pijesku. U drugoj istraživačkoj godini zabilježene su značajno veće vrijednosti TV na MT i RT tretmanima sa slamom u odnosu na tretmane bez pokrova, Slawinski i sur. (2012) također u drugoj godini svog istraživanja bilježi značajno povećanje TV sa plitkom obradom i ostavljanjem malča, ukazujući na važnost teksture tla i vremena primjene konzervacijske obrade tla. Također, MT i RT tretmani sa slamom i bez slame, značajno su veći sadržajem TV u usporedbi sa CT tretmanima. Dok se u trećoj istraživačkoj godini značajan pozitivan učinak zadržao samo na MT SL tretmanu u odnosu na ostale tretmane. Važno je napomenuti da u ovom istraživanju imamo zabilježeno značajno povećanje organske tvari u tlu na MT i RT tretmanima, što značajno utječe na TV (Acar i sur., 2017). Primjerice, na praškastoj ilovači nije bilo značajnih razlika TV između vertikalne i konvencionalne obrade nakon dvogodišnjeg istraživanja (Labuschagne i sur., 2020).

Na dubini do 10 cm u prvoj godini nisu zabilježene značajne razlike između istraživanih tretmana u proljetnom i jesenskom uzrokovanju, što je u suprotnosti sa rezultatima istraživanja Dekemati i sur. (2021) na praškastoj ilovači. U proljetnom i jesenskom uzorkovanju druge godine istraživanja bilježimo značajno povećanje TV na MT tretmanu u odnosu na ostale tretmane. Plitka obrada pokazala se značajno bolje rješenje u semihumidnim kontinentalnim uvjetima, omogućivši bolju procijeđenost vode, posebno na ilovastom tlu boljeg RKV (Oorts i sur., 2007b). TV na MT tretmanu bilježi značajno veće vrijednosti u odnosu na ostale tretmane

u proljetnom uzorkovanju treće godine istraživanja, dok u jesenskom bilježimo smanjenje vrijednosti TV na svim tretmanima bez značajnih razlika između tretmana. Povoljan utjecaj vertikalne obrade tla sa primjenom malča na MOP i SSA, rezultirao je boljim usvajanjem vode u tlu i smanjenom evaporacijom. Peng i sur. (2023) bilježi isti efekt na dubini od 5 do 10 cm u humidnim uvjetima na ilovači. Od 10 do 20 cm dubine u proljetnom uzorkovanju prve istraživačke godine značajna vrijednost TV zabilježena je na CT tretmanu u odnosu na druge tretmane, a navedeni efekt rezultat je prethodne kontinuirane obrade plugom te kratkoročnog inicijalnog efekta konvencionalne obrade, koju je također zabilježio Kováč i sur. (2005) na ilovastom tlu. Nadalje, u drugoj istraživačkoj godini izostale su značajne razlike između tretmana, no primjetno je povećanje TV u jesenskom uzorkovanju u odnosu na proljetno. U trećoj istraživačkoj godini zapažen je značajan pozitivan utjecaj slame na MT i RT tretmanima na povećanje TV u proljetnom uzorkovanju, dok je uz općenito smanjenje TV u jesenskom uzorkovanju izostala značajna razlika između tretmana. Peng i sur. (2015) na praškastoj ilovači bilježe isti pozitivan efekt malča na dubljim slojevima, a prema navedenom možemo pretpostaviti da ćemo vertikalnom obradom sa ostavljanjem malča omogućiti dulje zadržavanje vode u dubljim slojevima tla, te posljedično po potrebi omogućiti bolje uvjete za nicanje uzgajane kulture. Zabilježene značajne razlike prema vremenu i dubini uzorkovanja, najčešće su zabilježene u trećoj godini istraživanja (Đekemati i sur., 2019; Đekemati i sur., 2021).

Uspješna konzervacija vlage u bilo kojim agroekološkim uvjetima, ne ovisi samo o obradi tla i primjeni pokrova, nego i o odabiru kulture, datumu sjetve, klimatskim prilikama i primjeni gnojiva (Peterson i Westfall, 2004). Također, višegodišnje praćenje fizikalnih, kemijskih i bioloških parametara nužno je zbog značajnih odstupanja u količini i rasporedu padalina, ali i nepredvidivosti istih, koje djeluju nepovoljno na poljoprivrednu proizvodnju i otežavaju donošenje odluke o primjeni prilagođenih agrotehničkih mjera (Cantero-Martínez i sur., 2007). Važno je napomenuti da do pozitivnih učinaka malča na konzervaciju vlage dolazi najčešće kad je tlo 100 % pokriveno malčem (Klocke i sur., 2009)

5.5. Stabilnost strukturnih agregata

U prvoj godini istraživanja nije bilo značajnih razlika pod utjecajem pojedinačnih faktora i njihove interakcije. No, prema pojedinačnim faktorima, bilježimo relativno smanjenje SSA na CT tretmanu u odnosu na MT i RT tretmane. U drugoj istraživačkoj godini nastavljen je trend smanjenja SSA na svim tretmanima, bez značajnih razlika, da bi u trećoj godini na MT tretmanu zabilježili značajno veću SSA u odnosu na preostale tretmane. Očekivano, CT tretman je bilježio trend kontinuiranog smanjenja SSA kroz istraživanje, zbog destruktivnog

djelovanja pluga okretanjem tla, uzrokujući brže raspadanje strukturnih agregata i gubitak organske tvari (Hůla i sur., 2010; Song i sur., 2019; Jayaraman i sur., 2022). Izostanak značajnih razlika između CT i konzervacijskih sustava zabilježen je na praškastoj ilovači (Bartlová i sur., 2015), te na glinastoj ilovači (Bartlová i Badalíková, 2011) i glini (Giannitsopoulos i sur., 2020).

Pojedinačni faktor pokrova je pozitivno utjecao na povećanje SSA u prvoj godini istraživanja u odnosu na golo tlo, u drugoj godini trend je okrenut, da bi u trećoj godini pokrov zabilježio relativno veći SSA u odnosu na golo tlo. Varijabilnost utjecaja malča na SSA bilježi Fér i sur. (2022) tijekom 6 godišnjeg istraživanja na fluvisolu. Značajan utjecaj pojedinačnog faktora pokrova izostao je kroz sve godine istraživanja, što je sukladno istraživanju Pavlů i sur. (2021) na fluvisolu. Razlog vjerojatno leži u odabiru vrste malča i njegovoj količini Thai i sur. (2022). Prema Bartlová i sur. (2015) i Prasad i sur. (2019) SSA je pod snažnim utjecajem klimatskih uvjeta, te predstavlja dinamičnu vrijednost koja preko padalina i temperatura utječe na bubrenje i skupljanje, te smrzavanje i odmrzavanje tla.

Promatrajući interakciju u uvjetima iznadprosječnih padalina, najbolja vrijednost zabilježena je na RT SL tretmanu, ali bez značajnih razlika u odnosu na druge tretmane. Prema Bartlová i sur. (2015) SSA je pod priličnim utjecajem klimatskih uvjeta, te predstavlja dinamičnu vrijednost koja preko padalina i temperatura utječe na bubrenje i skupljanje tla. Giannitsopoulos i sur. (2020) na glinastoj ilovači i glini, uspoređujući pet sustava konzervacijske obrade ne bilježe značajne razlike u prvoj godini istraživanja. Nadalje, u drugoj godini istraživanja, SSA ponovno nema značajnih razlika između pojedinih istraživačkih faktora i njihove interakcije (tablica 27). Zanimljivo, CT tretman bilježi relativno veće vrijednosti od MT i RT tretmana (grafikon 43). Bartlová i Badalíková (2011) na černozemu također bilježe nesignifikantno veći SSA na konvencionalnom tretmanu u odnosu na ostale reducirane metode. Promatrajući interakciju faktora, vidljivo je da u semihumidnim uvjetima slama smanjuje SSA na reduciranim oblicima obrade, dok na CT tretmanu relativno povećava SSA (grafikon 44). U trećoj godini istraživanja interakcije faktora bilježimo veći SSA na MT tretmanu u odnosu na CT i RT tretman, a iz grafikona 62 vidljiv je rezultat destrukcijskog utjecaja kontinuirane primjene pluga, na kojeg upozoravaju Six i sur. (2000), Song i sur. (2019) i Jayaraman i sur. (2022). U interakcijskom utjecaju faktora, zajednički utjecaj plitke obrade i malča (MT i MT SL), značajno je zabilježio veće vrijednosti SSA u odnosu na preostale tretmane. Nakon trogodišnjih istraživanja do istih rezultata su došli Hůla i sur. (2010) i Bartlová i sur. (2015). Zabilježene visoke vrijednosti MT tretmana rezultat su očuvanja organske tvari u tlu uz ostavljanje malča, koja potom sudjeluje u formiranju makroagregatnih struktura (Jat i sur., 2019). OT i SSA su usko korelacijski povezani (Andruškaitė i Bogužas, 2023; Babur i

sur., 2021), te je kod obrade koja ostavlja veću OT zabilježen i veći SSA, što je slučaj u ovom istraživanju. Također, u godini sa prosječnim godišnjim padalinama, vertikalna obrada sa primjenom malča omogućila je zadržavanje vlažnosti tla, a time su se stvorili uvjeti u kojima voda naglo prodire u pore sa zrakom, te uslijed postignute tlačne kompresije zadržava agregate od daljnjeg raspadanja (Sutri i sur., 2022). Primjenom konzervacijskih metoda postižemo pozitivan učinak na očuvanje stabilnosti strukturnih agregata.

Važno je ukazati na nedostatak uniformne metode za određivanje stabilnosti strukturnih agregata u vodi, koji bitno otežava usporedbu rezultata i zaključaka različitih istraživanja (Nichols i Toro, 2011; Lammerding i sur., 2011; Panagea i sur., 2022; Rieke i sur., 2022).

5.6. Organska tvar u tlu

U prvoj i drugoj godini istraživanja nije bilo značajnih razlika pod utjecajem pojedinačnog faktora obrade (grafikon 19; 41). No, u trećoj istraživačkoj godini, bilježimo značajno povećanje OT na MT tretmanu u odnosu na CT i RT tretmane. Na glinastom tlu nakon 5 godina Deng i sur. (2023) bilježe značajno povećanje OT vertikalnom obradom do 30 cm u odnosu na konvencionalnu obradu. Također, važno je napomenuti da u kratkoročnim istraživanjima (< 3 godine) izostaju značajne razlike između tretmana obrade tla (Jodaugiene i sur., 2001; Slepetiene i Slepetys, 2005). Prema svemu prethodno navedenom vidljivo je da izostavljanjem okretanja tla odnosno smanjenjem narušavanja tla, doprinosimo značajnom povećanju OT kroz određeno vremensko razdoblje. Intenzivnim oranjem dolazi do razbijanja makroagregata, te se pritom OT kao vezivno tkivo u formiranju istih izlaže daljnjoj mikrobiološkoj razgradnji, rezultirajući manjim vrijednostima u tlu (Singh i sur., 2015).

Pojedinačni faktor pokrova kroz tri godine istraživanja nije zabilježio značajne razlike između tretmana. Nakon tri godine vidljivo je relativno povećanje OT pod pokrovom u odnosu na tlo bez pokrova, vjerojatni razlog je zbog slabe povezanosti između slame i tla, te je sporija njegova razgradnja a time i formiranje OT (Wu i sur., 2017). Prema Huang i sur. (2021) razgradnja pšenične slame bez unosa u tlo usporava se i do 30 %. Također sa povećanjem mase aplicirane slame, raste i vjerojatnost za ostvarivanje značajnih razlika, s primjerice 8 t/ha pšenične slame na ilovači zabilježeno je značajno povećanje s primjenom malča u odnosu na nepokriveno tlo (Khan i sur., 2021). Dok je glinastoj ilovači primjena 6 t/ha pšenične slame nakon 3 godine ostvarila značajno povećanje OT (+ 30 %) u odnosu na početno stanje (Akhtar i sur., 2019).

Promatrajući interakciju faktora kroz istraživanje, u prvoj i drugoj godini nije bilo značajnih razlika između tretmana. U trećoj godini bilježimo značajno veće vrijednosti OT na MT tretmanu u odnosu na ostale tretmane. Također, kroz trogodišnje razdoblje primjetan je porast OT na MT i RT tretmanima, dok je pod CT tretmanima vidljivo smanjenje OT. Navedeni ishod povećanja OT bez značajnih razlika prepoznat je i u preglednim radovima Lemke i sur. (2010) i Powlson i sur. (2011). Nakon višegodišnje primjene reduciranih i/ili konzervacijskih sustava obrade tla, zamijećeno je značajno povećanje na konzervacijskim tretmanima u odnosu na konvencionalne sustave na kambisolu (Slepetiene i Slepetys, 2005), černozemu (Michnovskaja i sur., 1986) i fluvisolu (Rusu i sur., 2013). Razlog leži u sporijoj razgradnji organske tvari i izbjegavanju pulverzacije strukturnih agregata intenzivnim okretanjem tla (Powlson i sur., 2012; Zhu i sur., 2014). Također, primjetno je da CT tretman unošenjem slame, nije povećao vrijednost OT, zbog širokog C/N odnosa pšenične slame, koja u tlu koristi dostupan dušik, koji omogućuje brzu mineralizaciju.

Povećane vrijednosti OT svakako doprinose boljem povezivanju fizikalnih i hidrauličkih svojstava, te su važan indikator kvalitete tla (Sutri i sur., 2022).

5.7. Prinos

U prvoj istraživačkoj godini (2019.) nije bilo značajnih razlika pod utjecajem pojedinačnog faktora obrade. Zabilježen je najveći prinos soje na CT tretmanu, u odnosu na preostale tretmane. Očekivano u prvoj godini izostao je pozitivan utjecaj konzervacijskih metoda obrade, jer navedeni zahvati se moraju primjenjivati više godina kako bi se ostvario značajan porast prinosa (Madarász i sur., 2016; Jug i sur., 2017). Ova situacija suprotna je od rezultata Bogunović i sur. (2020) na rigolanom tlu praškaste gline već gdje u prvoj godini bilježe značajno veće prinose zobi sa rovljenjem na 30 cm dubine u odnosu na konvencionalnu obradu. Prema Woźniak i Gos (2014) u uvjetima oborina > 300 mm u vegetacijskom razdoblju, bilježe nešto bolje prinose (+ 9 %) pod konvencionalnom primjenom pluga ali ne i signifikantne razlike u odnosu na reducirane oblike obrade. Također, Dekemati i sur. (2021) u sličnim klimatskim uvjetima na praškastoj ilovači bilježi prinose bez značajnih razlika između konzervacijskih sustava tokom trogodišnjeg istraživanja. Na glinastom tlu, u aridnim uvjetima prinos ječma plitkom obradom (do 15 cm) kultivatorom nije zabilježio značajne razlike u odnosu na konvencionalnu obradu kroz cijelo petogodišnje istraživanje (Bescansa i sur., 2006). U drugoj istraživačkoj godini najveći prinos kukuruza je ostvaren na RT tretmanu - značajno veći od MT tretmana, ali ne i od CT tretmana. U RT tretmanu koji se temelji na dubokom podrivanju, pokazuje da razbijanjem pokorice tj. „tabana pluga“ koji je nastao zbog

dugogodišnje primjene pluga na istoj dubini, možemo postići veće prinose u odnosu na preostale načine obrade tla. Navedeni efekt postignut prilikom vertikalne obrade tla nije zabilježen kod drugih istraživača nakon dvije ili više godina primjene (Špoljar i sur., 2010; Cociu i Alionte, 2011; Bogunović i sur., 2020; Dekemati i sur., 2021). Prema rezultatima treće istraživačke godine pojedinačni utjecaj obrade tla bilježi značajno veći prinos na RT i MT tretmana u odnosu na CT tretman, ali između reduciranih sustava nije bilo značajnih razlika (grafikon 73). Za razliku od Małecka i sur. (2015) koja na pjeskovitoj glinastoj ilovači nakon trogodišnjeg istraživanja reduciranom obradom kultivatorom (do 25 cm) nije zabilježila značajne razlike u odnosu na konvencionalnu obradu. Stoga je važno napomenuti snažan utjecaj lokalnih agroklimatskih uvjeta, zbog kojih postoje veliki broj istraživanja sa zabilježenim izrazito varijabilnim prinosima, učestalo kontradiktornim (Zhang i sur., 2015).

Pojedinačni faktor pokrova u prvoj istraživačkoj godini nije zabilježio značajne razlike između tla bez pokrova i tla sa pokrovom. No, primjenom slame zabilježen je veći prinos soje nego bez slame. Pojedinačna uloga pokrova u drugoj istraživačkoj godini u humidnim uvjetima bilježi značajne razlike između pokrivenog tla i tla bez pokrova. Pokriveno tlo ostvarilo je manje prinose, zbog nemogućnosti evaporacije, odnosno dužeg zadržavanja površinskih voda i sporijeg zagrijavanja tla (Alletto i sur., 2011). Pozitivna uloga slamnatog pokrova u uzgoju kukuruza djelotvornija je pri aridnim uvjetima (<400 mm) (Wang i sur., 2021). U prosječnoj klimatskoj godini kakva je bila treća istraživačka godina, zabilježen je značajno veći prinos jare pšenica primjenom slame u odnosu na tlo bez pokrova. Navedeno dovodi do zaključka da je potrebno kontinuirano primjenjivati malč kako bi se osigurali značajno veći prinosi kultura.

Promatrajući interakciju faktora obrada x pokrov, u prvoj istraživačkoj godini nisu zabilježene značajne razlike između tretmana. Vidimo pozitivan utjecaj primjene slame na reduciranim zahvatima (MT SL +21 % i RT SL +15 %) u odnosu na parcele bez pokrova. U drugoj godini istraživanja, interakcija istraživanih faktora pokazala je bolje prinose u humidnim uvjetima na svim tretmanima bez pokrova (grafikon 48). Tretmani sa plitkom obradom tla ostvarili su najniže prinose u odnosu na druge tretmane, ukazujući na važnost dreniranosti i omogućavanja širenja korijenovog sustava (Bogunović i sur., 2018; Jug i sur., 2021). Također, ne treba zanemariti utjecaj prethodne kulture (soje) koja fiksira dušik iz zraka i ostavlja ga sljedećoj kulturi. U trećoj istraživačkoj godini *Post hoc* test interakcije obrade i pokrova ukazao je na značajno niži prinos kod MT i RT tretmana bez pokrova, dok kod CT tretmana nije bilo značajnih razlika (grafikon 74). Prema Carr i sur. (2014) svaki sustav obrade koji smanjuje gaženje i/ili okretanje tla, pozitivno će djelovati na prinos jare pšenice.

Prema meta analizi koju su na području Švedske proveli Arvidsson i sur. (2014) u humidnim uvjetima, zaključuju da no-till bilježi prosječno oko 10 % niže prinose nego plitka kultivacija (5-12 cm). No till sustav koji se temelji na izostanku intervencija u tlu, ne predstavlja rješenje održivosti proizvodnih sustava, već dapače degradira tlo (povećanje volumne gustoće tla, slabiji razvoj korijena, niska hidraulička provodljivost) što je vidljivo po nižim prinosima. Vertikalnom obradom tla sa već od 10 cm i primjenom malča poboljšavamo vodozračne odnose u tlu, zadržavamo i/ili povećavamo organsku tvar u tlu (Pan i sur., 2009), utječući time na stabilne i visoke prinose zasijanih kultura (Malhi i Lemke, 2007; Küstermann i sur., 2013).

Prema dobivenim rezultatima vidimo značajna povećanja prinosa ostvarena vertiklanom obradom i korištenjem malča. Shodno tome konvencionalna obrada plugom kojoj je je jedan od najvećih argumenata stabilnost prinosa, više ne stoji. Ostvareni visoki prinosi, posebice soje i kukuruza temelj su ispravnosti odluke koja će se temeljiti na primjeni vertikalne obrade tla, i zajedno sa ostavljanjem malča koji će kroz višegodišnji period primjene poboljšati fizikalno-kemijska svojstva tla, te time djelovati na povećanje prinosa.

6. ZAKLJUČCI

Na temelju provedenih trogodišnjih istraživanja mogu se donijeti određeni zaključci vezani za postupanje i primjenu sustava obrade tla i malča na fluvisolu prema hipotezama:

H1: Konvencionalni sustav obrade tla rezultirati će rahlijim oraničnim slojem i formiranjem zbijenog sloja ispod dubine obrade, te će negativno djelovati na fizikalna svojstva fluvisola;

Prema rezultatima istraživanja, u prvoj godini vidljiv je rezidualni kratkotrajni učinak višegodišnjeg konvencionalnog pristupa obradi tla, što je rezultiralo nižim ρ_v i PR, ali bez značajnih razlika. Kontinuiranim zahvatima konvencionalne obrade tla na istoj dubini, povećavamo ρ_v i PR, te stvaramo nepropusni zbijeni sloj ispod razine obrade. Promatrujući utjecaj konvencionalne obrade kroz godine, primjećena je daljnja značajna degradacija oraničnog sloja po svim istraživanim parametrima primjenom konvencionalne obrade tla. Učestalim okretanjem tla, te ostavljanjem otvorenih brazda dolazi do gubitaka vode iz tla, što je zabilježeno praćenjem RKV i TV. Također, narušava se stabilnost struktrnih agregata, kontinuiranom pulverzacijom čestica tla. Organska tvar se brže razgrađuje, te se njena količina smanjuje kroz godine. Uzimajući u obzir sve prethodno navedeno, možemo potvrditi prvu hipotezu istraživanja.

H2: Konzervacijski sustavi obrade ostvariti će optimalne vodno-zračne odnose fluvisola i veće prinose ratarskih kultura;

Prema rezultatima istraživanja, vertikalnom obradom tla sa već od 10 cm i primjenom malča poboljšavamo vodozračne odnose u tlu, zadržavamo te povećavamo organsku tvar u tlu, utječući time na stabilne i visoke prinose zasijanih kultura. Prema dobivenim rezultatima konvencionalna obrada temeljena na oranju, omogućuje kratkoročno poboljšanje konzervacije vlage temeljeno na akumuliranju u tlu zbog otvorenih brazdi, što se dugoročno nije pokazalo adekvatnim, pa čak i kada se zaorava slama. Destruktivni proces koje prouzročuje konvencionalna obrada nije održiva po pitanju osiguravanja povoljnih vodozračnih odnosa niti stabilnosti prinosa. Konzervacijski sustavi u prvim godinama istraživanja nisu pokazali statistički značajno smanjenje prinosa u odnosu na konvencionalnu obradu, da bi u zadnjoj godini i statistički značajno ostvarili bolje prinose od konvencionalne obrade. Stoga možemo potvrditi drugu hipotezu istraživanja.

H3: Primjena slame kao mrtvog malča na fluvisolu pridonijeti će boljoj konzervaciji vlage, i povećati prinose ratarskih kultura.

Korištenjem malča sprječava se nepotreban gubitak vode evaporacijom i čuva visoki sadržaj organske tvari. U vremenima nepredvidivih klimatskih odstupanja (i raspodjela tijekom vegetacijske sezone), zadržavanje vode u tlu dostupne biljkama omogućuje održivost poljoprivredne proizvodnje. Primjenom pokrova spriječilo se kinetičko djelovanje kišnih kapi na strukturne agregate, kao i očuvao sadržaj organske tvari koji je najvažnije svojstvo koje povezuje mikroagregate u stabilne makroagregate. Shodno tome, u trećoj godini istraživanja, primjena slame bilježi značajno veće razlike u prinosu. Ovakva saznanja navode da je važna kontinuirana primjena slame kao malča, te ostavljanje iste na poljima. Uzimajući u obzir sve prethodno navedeno, možemo potvrditi treću hipotezu istraživanja.

7. POPIS LITERATURE

1. Abdallah, A. M., Jat, H. S., Choudhary, M., Abdelaty, E. F., Sharma, P. C., Jat, M. L. (2021). Conservation Agriculture Effects on Soil Water Holding Capacity and Water-Saving Varied with Management Practices and Agroecological Conditions: A Review. Agronomy, 11, 1681. doi: 10.3390/ agronomy11091681

2. Acar, M., Çelik, I., Günal, H. (2017). Effects of long-term tillage systems on soil water content and wheat yield under Mediterranean conditions. J. New Theory, 17, 98-108.

3. Afzalinia, S., Zabihi, J. (2014). Soil compaction variation during corn growing season under conservation tillage. Soil Till Res, 137: 1-6. doi: 10.1016/j.still.2013.11.003

4. Akhtar, K., Wang, W. Y., Khan, A., Ren, G. X., Afridi, M. Z., Feng, Y. Z., Yang G. H. (2018). Wheat straw mulching with fertilizer nitrogen: An approach for improving soil water storage and maize crop productivity. Plant Soil Environ, 64: 330-337.

5. Akhtar, K., Wang, W., Ren, G., Khan, A., Feng, Y., Yang, G., Wang, H. (2019). Integrated use of straw mulch with nitrogen fertilizer improves soil functionality and soybean production. Environ Int, 132: 105092. doi: 10.1016/j.envint.2019.105092.

6. Alam, M. K., Islam, M. M., Salahin, N., Hasanuzzaman, M. (2014). Effect of tillage practices on soil properties and crop productivity in wheat-mungbean-rice cropping system under subtropical climatic conditions. Sci World J, 437283.

7. Alesso, C. A., Masola, M. J., Carrizo, M. E., Cipriotti, P. A., del Imhoff, S. (2018). Spatial variability of short-term effect of tillage on soil penetration resistance. Archives of Agronomy and Soil Science, 65 (6): 822-832. doi: 10.1080/03650340.2018.1532076.

8. Alletto, L., Coquet, Y. (2009). Temporal and spatial variability of soil bulk density and near-saturated hydraulic conductivity under two contrasted tillage management systems. Geoderma 152 (1-2): 85-94. doi: 10.1016/j.geoderma.2009.05.023

9. Alletto, L., Coquet, Y., Benoit, P., Heddadj, D., Barriuso, E. (2011). Tillage management effects on pesticide fate in soils. U: Sustainable Agriculture Volume 2 (ur. Lichtfouse E, Navarrete M., Hamelin M., Debaeke P.), Springer, Dordrecht, Nizozemska, str. 787-831. doi: 10.1007/978-94-007-0394-0

10. Al-Shammary, A. A. G., Kouzani, A., Gyasi-Agyei, Y., Gates, W., Rodrigo-Comino, J. (2020). Effects of solarisation on soil thermal-physical properties under different soil treatments: a review. Geoderma 363: 114137. doi: 10.1016/j.geoderma.2019.114137

11. Alvarez, R., Steinbach, H. S. (2009). A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. Soil Till Res, 104 (1): 1-15. doi:10.1016/j.still.2009.02.005

12. Amato, G., Ruisi, P., Frenda, A. S., Di Miceli, G., Saia, S., Plaia, A., Giambalvo, D. (2013). Long-Term Tillage and Crop Sequence Effects on Wheat Grain Yield and Quality. Agronomy Journal, 105 (5): 1317. doi:10.2134/agronj2013.0019

13. Amézketa, E., Singer, M. J., Le Bissonnais, Y. (1996). Testing a procedure for measuring water-stable aggregation. Soil Sci Soc Am J, 60: 888-894.

14. Amézketa, E. (1999). Soil Aggregate Stability: A Review. Journal of Sustainable Agriculture, 14 (2-3): 83-151. doi: 10.1300/J064v14n02_08

15. Ampofo, E. A. (2018). Influence of Organic Mulches on Soil Physico-Chemical Properties and Maize (Zea Mays L.) Crop Performance. Journal of Agricultural Studies 6 (2): 1-16. doi:10.5296/jas.v6i2.12771

16. Anderson, R., Brye, K. R., Wood, L. S. (2019). Soil Aggregate Stability as Affected by Landuse and Soil Properties in the Lower Mississippi River Valley. Soil Sci Soc Am J 83: 1512-1524. doi:10.2136/sssaj2019.05.0139

17. Andruškaitė, I., Bogužas, V. (2023). Contrasting tillage systems and vertical arable layer stratification impacts on soil aggregates and root biomass in Lithuania. Research in Agricultural Engineering, 69 (2). doi: 10.17221/29/2022-RAE

18. Angers, D. A., Samson, N., Légère, A. (1993). Early changes in water-stable aggregation induced by rotation and tillage in a soil under barley production. Can J Soil Sci, 73: 51-59.

19. Are, K. S., Oshunsanya, S. O., Oluwatosin, G. A. (2018). Changes in soil physical health indicators of an eroded land as influenced by integrated use of narrow grass strips and mulch. Soil Till Res. 184: 269-280. doi: 10.1016/j.still.2018.08.009

20. Arora, V. K., Sidhu, A. S., Sandhu, K. S., Tind, S. S. (2010). Efects of tillage intensity, planting time and nitrogen rate on wheat yield following rice. Exp Agr, 46: 267-275. doi: 10.1017/S0014479710000311

21. Arvidsson, J., Etana, A., Rydberg, T. (2014). Crop yield in Swedish experiments with shallow tillage and no-tillage 1983–2012. European journal of agronomy, 52 (B): 307-315. doi: 10.1016/j.eja.2013.08.002

22. Babur, E., Kara, O., Fathi, R. A., Susam, Y. E., Riaz, M., Arif, M., Akhtar, K. (2021). Wattle fencing improved soil aggregate stability, organic carbon stocks and biochemical quality by restoring highly eroded mountain region soil. Journal of Environmental Management, 288: 112489.

23. Ban, D., Žanić, K., Dumičić, G., Gotlin Čuljak, T., Goreta Ban, S. (2009). The type of polyethylene mulch impacts vegetative growth, yield, and aphid populations in watermelon production. J Food Agric Environ, 7 (3/4): 543-550.

24. Barut, Z., Celik, I. (2017). Tillage effects on some soil physical properties in semi-arid mediterranean region of turkey. Chem Engineer Trans, 58: 217-222. doi: 10.3303/CET1758037

25. Bartlová, J., Badalíková, B. (2011). Water stability of soil aggregates in different systems of chernozem tillage. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, 59 (6): 25-30.

26. Bartlová, J., Badaliková, B., Pospíšilová, L., Pokorný, E., Šarapatka, B. (2015). Water stability of soil aggregates in different systems of tillage. Soil Water Res, 10 (3): 147-154. doi: 10.17221/132/2014-SWR

27. Bašić, F. (2014). Regionalizacija hrvatske poljoprivrede za skladno uključivanje u zajedničku poljoprivrednu politiku EU. Civitas Crisiensis, 1 (1): 143-176.

28. Bengough, A. G., Mullins, C.E. (1990). Mechanical Impedance to Root Growth: A Review of Experimental Techniques and Root Growth Responses. Journal of Soil Science, 41: 341-358. doi:10.1111/j.1365-2389.1990.tb00070.x

29. Bescansa, P., Imaz, M. J., Virto, I., Enrique, A., Hoogmoed, W. B. (2006). Soil water retention as affected by tillage and residue management in semiarid Spain. Soil and Tillage Research, 87 (1): 19-27. doi:10.1016/j.still.2005.02.028

30. Bhardwaj, R. L. (2013). Effect of mulching on crop production under rainfed condition – a review. Agricultural Reviews, 34 (3): 188-197. doi: 10.5958/j.0976-0741.34.3.003

31. Birkás, M., Jolánkai, M., Gyuricza, C., Percze, A. (2004). Tillage effects on compaction, earthworms and other soil quality indicators in Hungary. Soil Till Res, 78 (2): 185-196. doi: 10.1016/j.still.2004.02.006

32. Birkás, M., Jolánkai, M., Kisić, I., Stipešević, B. (2008). Soil tillage needs a radical change for sustainability. Agriculturae Conspectus Scientificus, 73 (3): 131-136.

33. Birkás, M., Jug, D., Kisić, I. (2014). Book of Soil Tillage. Szent Istvan University Press, Gödöllő, Mađarska.

34. Birkás, M., Bogunović, I., Đekemati, I., Kisić, I., Radics, Z. (2018). Adaptable tillage–is that a solution for the present climate situation. U: Proceedings and Abstracts, 11th international/professional conference agriculture in nature and environment protection (ur. Jug D., Brozović B.,), HDPOT, Osijek, Hrvatska, str. 28-30

35. Birkás, M., Jug, D., Kende, Z., Kisić, I., Szemők, A. (2018). Soil tillage response to the climate threats—Revaluation of the classic theories. Agric Conspec Sci, 93: 1-9.

36. Blanco-Canqui, H., Lal, R. (2009). Crop residue removal impacts on soil productivity and environmental quality. Critical Reviews in Plant Science, 28 (3): 139-163.

37. Blanco-Canqui, H., Wienhold, B. J., Jin, V. L., Schmer, M. R., Kibet, L. C. (2017). Long term tillage impact on soil hydraulic properties. Soil Till Res, 170: 38-42. doi: 10.1016/j.still.2017.03.001

38. Blanco-Canqui, H., Ruis, S. J. (2018). No-tillage and soil physical environment. Geoderma, 326: 164-200.

39. Bogunović, I., Đekmeti, I., Magdić, I., Vrbanić, M., Matošić, S., Mesić, M. (2016). Spatial modelling for describing spatial variability of soil physical properties in eastern Croatia. Poljoprivreda, 22 (1): 46-52. doi: 10.18047/poljo.22.1.7

40. Bogunovic, I., Pereira, P., Kisic, I., Sajko, K., Sraka, M. (2018). Tillage management impacts on soil compaction, erosion and crop yield in Stagnosols (Croatia). Catena, 160: 376-384. doi: 10.1016/j.catena.2017.10.009

41. Bogunovic, I., Vukadinovic, V., Kisic, I., Chiavalon, S., Vucic, H., Durdevic, B. (2018b). Tillage and soil amendments efect on soil physical properties and yield of oats (Avena sativa L.) in organic farm in Mediterranean Croatia. Agric Conspec Sci, 83: 17-23.

42. Bogunović, I., Kovács, P. G., Dekemati, I., Kisić, I., Balla, I., Birkás, M. (2019). Long-term effect of soil conservation tillage on soil water content, penetration resistance, crumb ratio and crusted area. Plant, Soil and Environment, 65 (9): 442-448. doi: 10.17221/249/2019-PSE

43. Bogunovic, I., Pereira, P., Galic, M., Bilandzija, D., Kisic, I. (2020). Tillage system and farmyard manure impact on soil physical properties, CO 2 emissions, and crop yield in an organic farm located in a Mediterranean environment (Croatia). Environ Earth Sci, 79 (3): 1-11. doi: doi.org/10.1007/s12665-020-8813-z

44. Bogunović, I., Hrelja, I., Kisić, I., Dugan, I., Krevh, V., Defterdarović, J., Filipović, V., Filipović, L., Pereira, P. (2023). Straw Mulch Effect on Soil and Water Loss in Different Growth Phases of Maize Sown on Stagnosols in Croatia. Land, 12, 765. doi:10.3390/land12040765

45. Bottenberg, H., Masiunas, J., Eastman, C. (1999). Strip tillage reduces yield loss of snapbean planted in rye mulch. Hort Tech, 9 (2): 235-240.

46. Botta, G. F., Tolon-Becerra, A., Lastra-Bravo, X., Tourn, M. (2010). Tillage and Traffic Effects (Planters and Tractors) on Soil Compaction and Soybean (Glycine max L.) Yields in Argentinean Pampas. Soil Till Res, 110: 167-174. doi: 10.1016/j.still.2010.07.001

47. Brady, N. C., Weil, R. R. (2016). The nature and properties of soils. 15th edition, Pearson, Columbus, Ohio, SAD.

48. Brezinščak, L., Kisić, I. (2019). Influence of different tillage methods to mitigate climate change. U: Proceedings of the 10th CASEE Conference 2019 "The role of life science universities in redirecting land use from threat to guardian of ecosystem" (ur. Lošťák M.), University of Sarajevo Faculty of Agriculture and Food Sciences, 31-31.

49. Brezinščak, L., Bogunović, I. (2021). Tillage and straw management impact on soil structure, compaction and soybean yield on fluvisol. JCEA, 22 (1): 133-145. doi: 10.5513/JCEA01/22.1.2975

50. Brezinščak, L., Kontek, M., Bogunović, I., Horvat, D. (2022). Impact of Conservation Tillage on Grain Yield and Yield Components of Maize in North-West Croatia. Agr Con Sci, 87 (2): 103-109.

51. Brezinščak, L. Bogunović, I. (2024). Effect of different tillage management systems on soil physical characteristics and yield in the periurban region of City of Zagreb. U: Book of abstracts of the 14th CASEE Conference ”The Role of the Life Sciences Universities in the Green Transition of Central and Eastern Europe”, University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine of Cluj-Napoca, 13-13.

52. Bronick, C. J., Lal, R. (2005). Soil structure and management: a review. Geoderma 124 (1-2): 3-22. doi: 10.1016/j.geoderma.2004.03.005

53. Bueno, C. G., Azorín, J., Gómez-García, D., Alados, C. L., Badía, D. (2013). Occurrence and intensity of wild boar disturbances, effects on the physical and chemical soil properties of alpine grasslands. Plant Soil 373: 243–256.

54. Busari, M. A., Kukal, S. S., Kaur, A., Bhatt, R., Dulazi, A. A. (2015). Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. Int Soil and Water Cons Res, 3 (2): 119-129. doi: 10.1016/j.iTVr.2015.05.002

55. Buschiazzo, D. E., Panigatti, J. L., Unger, P. W. (1998). Tillage eff ects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. Soil Till Res, 49 (1): 105-116.

56. Butorac, A. (1999). Opća agronomija. Školska knjiga, Zagreb, Hrvatska.

57. Butorac, A., Bašić, F. (1989). Antropogena zbijanja tla i mogući putevi njihovog uklanjanja ili ublažavanja. Poljoprivredne aktualnosti, 33 (1-2): 121-135.

58. de Cárcer, P. S., Sinaj, S., Santonja, M., Fossati, D., Jeangros, B. (2019). Long-term efects of crop succession, soil tillage and climate on wheat yield and soil properties. Soil Till Res, 190: 209-219. doi: 10.1016/j.still.2019.01.012

59. Cairns, J. E., Hellin, J., Sonder, K., Araus, J. L., MacRobert, J. F., Thierfelder, C., Prasanna, B. M. (2013). Adapting maize production to climate change in sub-Saharan Africa. Food Security, 5 (3): 345-360. doi: 10.1007/s12571-013-0256-x

60. Campbell, D. J., O´Sullivan, M. F. (1991). Chapter 9: the cone penetrometer in relation to trafficability, compaction and tillage. U: Soil Analysis. Physical Methods (ur. Smith K., Mullins C.), Marcel Dekker, Inc., New York, SAD, 399-429.

61. Cantero-Martínez, C., Angás, P., Lampurlanés, J. (2007). Long-term yield and water use efficiency under various tillage systems in Mediterranean rainfed conditions. Annals of Applied Biology, 150 (3): 293-305.

62. Carr, P. M., Martin, G. B., Gunderson, J. J. (2014). Impact of Tillage on Spring Wheat Yield. Dostupno na: https://www.ndsu.edu/agriculture/sites/default/files/2022-10/Impact_of_Tillage_on_Spring_Wheat_Yield2007.pdf [Pristupljeno: 12.01.2023.]

63. Carter, M. R., Sanderson, J. B., Ivany, J. A., White, R. P. (2002). Influence of rotation and tillage on forage maize productivity, weed species, and soil quality of a fine sandy loam in the cool–humid climate of Atlantic Canada. Soil Till Res, 67 (1): 85-98

64. Çay, A. (2018). Impact of different tillage management on soil and grain quality in the Anatolian paddy rice production. Plant Soil Environ, 64: 303-309. doi: 10.17221/277/2018-PSE

65. Celik, I. (2011). Effects of tillage methods on penetration resistance, bulk density and saturated hydraulic conductivity in a clayey soil conditions. Journal of Agricultural Sciences, 17 (2): 143-156.

66. Cerdà, A., Rodrigo-Comino, J., Giménez-Morera, A., Keesstra, S. D. (2018a). Hydrological and erosional impact and farmer's perception on catch crops and weeds in citrus organic farming in Canyoles river watershed, Eastern Spain. Agric Ecosyst. Environ 258: 49-58. doi: 10.1016/j.agee.2018.02.015

67. Cerdà, A., Rodrigo-Comino, J., Giménez-Morera, A., Novara, A., Pulido, M., Kapović-Solomun, M., Keesstra, S. (2018b). Policies can help to apply successful strategies to control soil and water losses. The case of chipped pruned branches (CPB) in Mediterranean citrus plantations. Land Use Policy, 75: 734-745. doi: 10.1016/j.landusepol.2017.12.052

68. Chan, K. Y., Heenan, D. P., Ashley, R. (1994). Seasonal changes in surface aggregate stability under different tillage and crops. Soil Till Res, 28: 301-314

69. Chen, S. Y., Zhang, X. Y., Pei, D., Sun, H. Y., Chen, S. L. (2007). Effects of straw mulching on soil temperature, evaporation and yield of winter wheat: field experiments on the North China Plain. Ann of Appl Biol, 150 (3): 261-268. doi: 10.1111/j.1744-7348.2007.00144.x

70. Chen, C., Lei, C., Deng, A., Qian, C., Hoogmoed, W., Zhang, W. (2011). Will higher minimum temperatures increase corn production in northeast China? An analysis of historical

data over 1965–2008. Agrand Forest Meteorol, 151: 1580-1588. doi: 10.1016/j.agrformet.2011.06.013

71. Christensen, N. B., Sisson, J. B., Sweeney, D. W., Swallow, C. W. (1998). Electronically controlled, portable, cone penetrometer. Commun Soil Sci Plant Anal 29: 1177-1182

72. Cociu, A. I., Alionte, E. (2011). Yield and Some Quality Traits of Winter Wheat, Maize and Soybean, Grown in Different Tillage and Deep Loosening Systems Aimed to Soil Conservation. Rom Agric Res, 28 (1): 109-120.

73. Cook, H. F., Gerardo, S. B. V., Howard, C. L. (2006). Mulch effects on rainfall interception, soil physical characteristics and temperature under Zea mays L. Soil Till Res, 91: 227-235. doi: 10.1016/j.still.2005.12.007

74. Cooper, R. J., Hama-Aziz, Z. Q., Hiscock, K. M., Lovett, A. A., Vrain, E., Dugdale, S. J., Sünnenberg, G., Dockerty, T., Hovesen, P., Noble, L. (2020). Conservation tillage and soil health: Lessons from a 5-year UK farm trial (2013–2018). Soil Till Res, 202: 104648. doi: 10.1016/j.still.2020.104648

75. Corbeels, M., Naudin, K., Whitbread, A. M., Kühne, R., Letourmy, P. (2020). Limits of conservation agriculture to overcome low crop yields in sub-Saharan Africa. Nat Food 1, 447-454. doi: 10.1038/s43016-020-0114-x

76. Ćirić, V., Belić, M., Nešić, L., Savin, L., Simikić, M., Gligorić, R., Šeremešić, S. (2013). Stabilnost strukture černozema pri različitim načinima proizvodnje. Savremena poljoprivredna tehnika, 39 (3): 177-186.

77. Dam, R. F., Mehdi, B. B., Burgess, M. S. E., Madramootoo, C. A., Mehuys, G. R., Callum, I. R. (2005). Soil bulk density and crop yield under eleven consecutive years of corn with different tillage and residue practices in a sandy loam soil in central Canada. Soil Till Res 84: 41-53.

78. Dass, A., Bhattacharyya, R. (2017). Wheat residue mulch and anti-transpirants improve productivity and quality of rainfed soybean in semi-arid north-Indian plains. F Crop Res 210: 9-19. doi: 10.1016/j.fcr.2017.05.011

79. Dekemati, I., Simon, B., Vinogradov, S., Birkás, M. (2019). The effects of various tillage treatments on soil physical properties, earthworm abundance and crop yield in Hungary. Soil Till Res, 194, 104334. doi: 10.1016/j.still.2019.104334

80. Dekemati, I., Simon, B., Bogunovic, I., Vinogradov, S., Modiba, M. M., Gyuricza, C., Birkás, M. (2021). Three-Year Investigation of Tillage Management on the Soil Physical Environment, Earthworm Populations and Crop Yields in Croatia. Agronomy, 11 (5): 825. doi: 10.3390/agronomy11050825

81. Deines, J. M., Wang, S., Lobell, D. B. (2019). Satellites reveal a small positive yield effect from conservation tillage across the US Corn Belt. Environmental Research Letters, 14/12: 124038.

82. Deng, Z., Huang, M., Zhang, W., Wang, G., Huang, X., Liang, G., Li, N. (2023). Effects of five years conservation tillage for hedging against drought, stabilizing maize yield, and improving soil environment in the drylands of northern China. PLoS ONE, 18 (3): e0282359. doi: 10.1371/journal.pone.0282359

83. Dexter, A. R., Czyż, E. A., Gaţe, O. P. (2007). A method for prediction of soil penetration resistance. Soil Till Res, 93 (2): 412-419. doi: 10.1016/j.still.2006.05.011

84. Díaz-Zorita, M. (2000). Effect of deep-tillage and nitrogen fertilization interactions on dryland corn (Zea mays L.) productivity. Soil Till Res, 54 (1-2): 11-19.

85. Díaz-Zorita, M., Duarte, G. A., Grove, J. H. (2002). A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid pampas of Argentina. Soil Till Res, 65: 1-18.

86. Diaz, F., Jimenez, C. C., Tejedor, M. (2005). Influence of the thickness and grain size of tephra mulch on soil water evaporation. Agr water manage, 74 (1): 47-55

87. Đekemati, I., Radics, Z., Kende, Z., Birkás, M. (2016). Soil state assessment in Croatia and in Hungary – Similiarities and differences. Növénytermelés, 65 (Suppl.), 139-142.

88. Derpsch, R. (2005). Historical review of no-tillage cultivation of crops. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Agriculture and Consumer Protection Department.

89. Devine, S., Markewitz, D., Hendrix, P., Coleman, D. (2014). Soil aggregates and associated organic matter under conventional tillage, no-tillage, and forest succession after three decades. PLos One, 9 (1): e84988. doi: 10.1371/journal.pone.0084988

90. Eriksen-Hamel, N. S., Speratti, A. B., Whalen, J. K., Légére, A., Madramootoo, C. A. (2009). Earthworm populations and growth rates related to long-term crop residue and tillage management. Soil Till Res, 104: 311-316.

91. Fan, W., Wu, J., Li, J., Hu, J. (2018). Comparative effects of different maize straw returning modes on soil humus composition and humic acid structural characteristics in Northeast China. Chemistry and Ecology, 34 (4): 355-370. doi:10.1080/02757540.2018.143714

92. Fan, W., Wu, J., Ahmed, S., Hu, J., Chen, X., Li, X., Zhu, W., Opoku-Kwanowaa, Y. (2020). Short-Term Effects of Different Straw Returning Methods on the Soil Physicochemical Properties and Quality Index in Dryland Farming in NE China. Sustainability, 12 (7): 2631. doi: 10.3390/su12072631

93. Fér, M., Nikodem, A., Trejbalová, S., Klement, A., Pavlů, L., Kodešová, R. (2022). How various mulch materials can affect the soil hydro-physical properties. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 70 (3): 269-275. doi: 10.2478/johh-2022-0016

94. Fashi, F. H., Gorji, M., Sharifi, F. (2019). Temporal variability of soil water content and penetration resistance under different soil management practices. J Soil Water Conserv, 74 (2): 188-198.

95. Faroooq, M., Flower, K. C., Jabran, K., Wahid, A., Siddique, K. H. M. (2011). Crop yield and weed management in rainfed conservation agriculture. Soil Till Res, 117:172-183. doi: 10.1016/j.still.2011.10.001

96. Filipovic, D., Husnjak, S., Kosutic, S., Gospodaric, Z. (2006). Effects of tillage systems on compaction and crop yield of Albic Luvisol in Croatia. J Terra, 43 (2): 177-189. doi:10.1016/j.jterra.2005.04.002

97. Fuentes, M., Govaerts, B., De Leon, F., Hidalgo, C., Dendooven, L., Sayre, K. D., Etchevers, J. (2009). Fourteen years of applying zero and conventional tillage, crop rotation and residue management systems and its effect on physical and chemical soil quality. Eur J Agron, 30: 228-237. doi: 10.1016/j.eja.2008.10.005

98. Gan, Y., Siddique, K. H. M., Turner, N. C., Li, X.-G., Niu, J.-Y., Yang, C., Liu, L., Chai, Q. (2013). Ridge-furrow mulching systems—an innovative technique for boosting crop productivity in semiarid Rain-fed environments. Adv Agr, 118: 429-476. doi: 10.1016/B978-0-12-405942-9.00007-4

99. García-Orenes, F., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Guerrero, C., Bodí, M. B., Arcenegui, V., Zornoza, R., Sempere, J. G. (2009). Effects of agricultural management on surface soil properties and soil–water losses in eastern Spain. Soil Till Res, 106 (1): 117-123. doi: 10.1016/j.still.2009.06.002

100. Giannitsopoulos, M. L., Burgess, P. J., Rickson, J. (2020). Effects of conservation tillage drills on soil quality indicators in a wheat-oilseed rape rotation: organic carbon, earthworms and water stable aggregates. Soil Use and Management, 36 (1): 139-152. doi: 10.1111/sum.12536

101. Głąb, T., Kulig, B. (2008). Effect of mulch and tillage system on soil porosity under wheat (Triticum aestivum). Soil Till Res, 99 (2): 169-178.

102. Gozubuyuk, Z., Sahin, U., Ozturk, I., Celik, A., Adiguzel, M. C. (2014). Tillage effects on certain physical and hydraulic properties of a loamy soil under a crop rotation in a semi-arid region with a cool climate. Catena, 118: 195-205. doi:10.1016/j.catena.2014.01.006

103. Govindasamy, P., Mowrer, J., Rajan, N., Provin, T., Hons, F., Bagavathiannan, M. (2021). Influence of long-term (36 years) tillage practices on soil physical properties in a grain sorghum experiment in Southeast Texas. Arch Agron Soil Sci, 67 (2): 234-244. doi: 10.1080/03650340.2020.1720914

104. Gračanin, M. (1950). Mjesečni kišni faktori i njihovo značenje u pedološkim istraživanjima, Poljoprivredna znanstvena smotra 12, 51.

105. Gregory, P. J. (1994). Root growth and activity. U: Physiology and determination of crop yield (ur. Boote K. J., Bennett J. M., Sinclair T. R., Paulsen G.M.), ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, SAD.

106. Gruber, S., Möhring, J., Claupein, W. (2011). On the way towards conservation tillage-soil moisture and mineral nitrogen in a long-term field experiment in Germany. Soil Till Res, 115, 80-87.

107. Hadas, A., Rawitz, E., Etkin, H., Margolin, M. (1994). Short-term variations of soil physical properties as a function of the amount of C/N ratio of decomposing cotton residues. I. Soil aggregation and aggregate tensile strength. Soil Till Res, 32: 183-198.

108. Håkansson, I., Lipiec, J. (2000). A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. Soil Till Res, 53: 71-85.

109. Han, H., Ning, T., Li, Z. (2013). Effects of tillage and weed management on the vertical distribution of microclimate and grain yield in a winter wheat field. Plant Soil Environ 59 (5): 201-207. doi: 10.17221/766/2012-PSE

110. Hanks, D., Lewandowski, A. (2003). Protecting Urban Soil Quality: Examples for Landscapes Codes and Specifications. US Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.

111. Hati, K. M., Biswas, A. K., Somasundaram, J., Mohanty, M., Singh, R. K., Sinha, N. K., Chaudhary, R. S. (2020). Soil Organic Carbon Dynamics and Carbon Sequestration Under Conservation Tillage in Tropical Vertisols. U: Carbon Management in Tropical and Sub-Tropical Terrestrial Systems (ur. Ghosh P. K., Mahanta S. K., Mandal D., Mandal B., Ramakrishnan S.), Springer, Singapur. doi: 10.1007/978-981-13-9628-1

112. Hazelton, P., Murphy, B. (2007). Interpreting soil test results: what do all the numbers mean?. NSW Department of Natural resources. Csiro Publishing, Collingwood, Australija.

113. He, J. H., Wang, P., Chen, J., Wang, G. Y. (2018). Effects of different rotational tillage patterns on bulk density and moisture of soil and yield of spring maize (Zea Mays L.) in Arid Areas. Chin J Soil Sci, 49: 415-422.

114. He, C., Niu, J. R., Xu, C. T., Han, S. W., Bai, W., Song, Q. L., Dang, Y. P., Zhang, H. L. (2021). Effect of conservation tillage on crop yield and soil organic carbon in Northeast China: A meta-analysis. Soil Use Manage, 38: 1146-1161. doi: 10.1111/sum.12784

115. Hemmat, A., Eskandari, I. (2004). Conservation tillage practices for winter wheat–fallow farming in the temperate continental climate of northwestern Iran. Field Crops Research, 89 (1): 123-133.

116. HRN ISO 11272:2004. Kakvoća tla - Određivanje volumne gustoće suhog tla (ISO 11272:1998)

117. HRN ISO 11277:2004. Kakvoća tla - Određivanje raspodjele veličine čestica (mehaničkog sastava) u mineralnom dijelu tla -- Metoda prosijavanja i sedimentacije (ISO 11277:1998+Cor 1:2002)

118. HRN ISO 11464:2009. Kakvoća tla - Priprema uzorka za fizikalno-kemijske analize (ISO 11464:2006)

119. HRN ISO 11465:2004. Kakvoća tla - Određivanje suhe tvari i sadržaja vode na osnovi mase -- Gravimetrijska metoda (ISO 11465:1993+Cor 1:1994)

120. HRN ISO 11508:2004. Kakvoća tla - Određivanje gustoće čvrstih čestica (ISO 11508:1998)

121. HRN ISO 10694:2004. Kakvoća tla - Određivanje organskoga i ukupnog ugljika suhim spaljivanjem (elementarna analiza) (ISO 10694:1995)

122. Huang, T., Yang, N., Lu, C., Qin, X., Siddique, K. H. (2021). Soil organic carbon, total nitrogen, available nutrients, and yield under different straw returning methods. Soil Till Res, 214: 105171.

123. Hůla, J., Procházková, B., Dryšlová, T., Horáček, J., Javůrek, M., Kovaříček, P., Kroulík, M., Kumhála, F., Smutný, V., Tippl, M., Winkler, J. (2010). Impact of Unconventional Technologies of Soil Cultivation on Soil Environment. Applied Certified Methodology. RIAE, Prag.

124. Husnjak, S., Filipović, D., Košutić, S. (2002). Influence of different tillage systems on soil physical properties and crop yield. Rostlinna Vyroba, 48: 249-254.

125. Husnjak, S. (2014). Sistematika tala Hrvatske. Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb, Hrvatska.

126. Huynh, H. T., Hufnagel, J., Wurbs, A., Bellingrath-Kimura, S. D. (2019). Infuences of soil tillage, irrigation and crop rotation on maize biomass yield in a 9-year feld study in Müncheberg, Germany. Field Crop Res, 241: 107565. doi: 10.1016/j.fcr.2019.107565

127. Imhoff S., Silva A. P. D., Ghiberto P. J., Tormena C. A., Pilatti M. A., Libardi P. L. (2016). Physical quality indicators and mechanical behavior of agricultural soils of Argentina. Plos One, 11 (4): e0153827. doi: 10.1371/journal.pone.0153827

128. Iqbal, R., Raza, M. A. S., Valipour, M., Saleem, M. F., Zaheer, M. S., Ahmad, S., Toleikienė, M., Haider, I., Aslam, M., U., Nazar, M. A. (2020). Potential agricultural and environmental benefits of mulches—a review. Bulletin of the National Research Centre 44: 1-16. doi: 10.1186/s42269-020-00290-3

129. Jabran, K. (2019). Role of mulching in pest management and agricultural sustainability. Springer, Cham, Švicarska. doi: 10.1007/978-3-030-22301-4

130. Jabro, J. D., Iversen, W. M., Stevens, W. B., Evans, R. G., Mikha, M. M., & Allen, B. L. (2016). Physical and hydraulic properties of a sandy loam soil under zero, shallow and deep tillage practices. Soil Till Res, 159: 67-72. doi:10.1016/j.still.2016.02.002

131. Jalli, M., Huusela, E., Jalli, H., Kauppi, K., Niemi, M., Himanen, S., Jauhiainen, L. (2021). Effects of crop rotation on spring wheat yield and pest occurrence in different tillage systems: a multi-year experiment in Finnish growing conditions. Frontiers in Sustainable Food Systems, 5: 647335. doi: 10.3389/fsufs.2021.647335

132. Jat, H. S., Datta, A., Choudhary, M., Yadav, A. K., Choudhary, V., Sharma, P. C., Gathala, M. K., Jat, M. L., McDonald, A. (2019). Effects of tillage, crop establishment and diversification on soil organic carbon, aggregation, aggregate associated carbon and productivity in cereal systems of semi-arid Northwest India, Soil Till Res, 190: 128-138. doi: 10.1016/j.still.2019.03.005

133. Jayaraman, S., Sahu, M., Sinha, N. K., Mohanty, M., Chaudhary, R. S., Yadav, B., Srivastava, L. K., Hati, K. M., Patra, A. K., Dalal, R. C. (2022). Conservation Agricultural Practices Impact on Soil Organic Carbon, Soil Aggregation and Greenhouse Gas Emission in a Vertisol. Agriculture, 12: 1004. doi: 10.3390/ agriculture12071004

134. Ji, S., Unger, P. W. (2001). Soil water accumulation under different precipitation, potential evaporation, and straw mulch conditions. Soil Science Society of America Journal, 65 (2): 442-448.

135. Jodaugiene, D., Motuzas, A., Stancevicius, A., Raudonius, S. (2001). Different soil tillage and humus quality, clay fraction content and its organic and mineral composition in Endohypogleic– Eutric Planasols. Agric Sci, 4: 3-11.

136. Jordán, A., Zavala, L. M., Gil, J. (2010). Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. Catena, 81 (1): 77-85. doi: 10.1016/j.catena.2010.01.007

137. Jordán, A., Zavala, L. M., Muñoz-Rojas M. (2011). Mulching, Effects on Soil Physical Properties. U: Encyclopedia of Earth Sciences Series (ur. Gliński J., Horabik J., Lipiec J.), Springer, Dordrecht, Nizozemska. doi: 10.1007/978-90-481-3585-1_275

138. Jug, D. (2005). Utjecaj reducirane obrade tla na prinos ozime pšenice, kukuruza i soje u agroekološkim uvjetima sjeverne Baranje. Doktorska disertacija. Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet

139. Jug, D., Stipešević, B., Jug, I., Stošić, M., Kopas, G. (2006). Prinos kukuruza (Zea Mays L.) na različitim varijantama obrade tla. Poljoprivreda, 12: 5-10.

140. Jug, D. Birkás, M., Kisić, I. (2015). Obrada tla u agroekološkim okvirima. HDPOT, Osijek, Hrvatska.

141. Jug, D., Jug, I., Vukadinović, V., Đurđević, B., Stipešević, B., Brozović, B. (2017). HDPOT, Osijek, Hrvatska.

142. Jug D., Jug I., Brozović B., Vukadinović V., Stipešević B., Đurđević B. (2018). The role of conservation agriculture in mitigation and adaptation to climate change. Poljoprivreda 24 (1): 35-44. doi: 10.18047/poljo.24.1.5

143. Jug, D., Đurđević, B., Birkás, M., Brozović, B., Lipiec, J., Vukadinović, V., Jug, I. (2019). Effect of conservation tillage on crop productivity and nitrogen use efficiency. Soil Till Res, 194 (4): 104327. doi: 10.1016/j.still.2019.104327

144. Jug, I., Brozović, B., Đurdević, B., Wilczewski, E., Vukadinović, V., Stipešević, B., Jug, D. (2021). Response of Crops to Conservation Tillage and Nitrogen Fertilization under Different Agroecological Conditions. Agronomy, 11: 2156. doi: 10.3390/ agronomy11112156

145. Jun, F., Yu, G., Quanjiu, W., Malhi, S. S., Yangyang, L. (2014). Mulching effects on water storage in soil and its depletion by alfalfa in the Loess Plateau of northwestern China. Agricultural Water Management, 138: 10-16. doi:10.1016/j.agwat.2014.02.018

146. Kader, M. A., Senge, M., Mojid, M. A., Ito, K. (2017). Recent advances in mulching materials and methods for modifying soil environment. Soil Till Res, 168: 155-166. doi: 10.1016/j.still.2017.01.001

147. Kader, M. A., Nakamura, K., Senge, M., Mojid, M. A., Kawashima, S. (2019). Soil hydro-thermal regimes and water use efficiency of rain-fed soybean (Glycine max) as affected by organic mulches. Agric Water Manage, 223: 105707. doi: 10.1016/j.agwat.2019.105707

148. Kader, M. A., Singha, A., Begum, M. A., Jewel, A., Khan, F. H., Khan, N. I. (2019b). Mulching as water-saving technique in dryland agriculture. Bulletin of the National Research Centre, 43 (1): 1-6. doi.org/10.1186/s42269-019-0186-7

149. Kapusta, G., Krausz, R. F., Matthews, J. L. (1996). Corn yield is equal in conventional, reduced, and no tillage after 20 years. Agr J, 88 (5): 812-817.

150. Kasirajan, S., Ngouajio, M. (2012). Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: a review. Agron sustain dev, 32 (2): 501-529. doi: 10.1007/s13593-011-0068-3

151. Kassam, A., Friedrich, T., Derpsch, R. (2019). Global spread of conservation agriculture. International Journal of Environmental Studies, 76 (1): 29-51. doi: /10.1080/00207233.2018.1494927

152. Keller, T., Sandin, M., Colombi, T., Horn, R., Or, D. (2019). Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning. Soil Till Res, 194: 104293.

153. Kemper, W. D., Rosenau, R. C. (1986). Aggregate stability and size distribution. U: Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods (ur. Klute A.), American Society of Agronomy, Madison, WI, SAD, str. 425-444

154. Kihara, J., Bationo, A., Waswa, B., Kimetu, J. M., Vanlauwe, B., Okeyo, J., Mukalama, J., Martius, C. (2012). Effect of reduced tillage and mineral fertilizer application on maize and soybean productivity. Expl Agric, 48 (2): 159-175. doi: 10.1017/S0014479711000895

155. Kisić, I., Bašić, F., Birkas, M., Jurišić, A., Bićanić, V. (2010). Crop Yield and Plant Density under Different Tillage Systems. Agric Conspect Sci 75 (1): 1-7.

156. Kisić, I. (2012). Sanacija onečišćenog tla. Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zagreb, Hrvatska.

157. Kisić, I., Bogunović, I., Birkás, M., Jurišić, A., Spalević, V. (2017). The role of tillage and crops on a soil loss of an arable Stagnic Luvisol. Arch Agron Soil Sci, 63 (3): 403-413. doi: 10.1080/03650340.2016.1213815

158. Klute, A. (1982). Tillage effects on the hydraulic properties of soil: A review. U: Predicting Tillage Effects on Soil Physical Properties and Processes (ur. Unger P. W., van Doren D. M.,Whisler F. D., Skidmore E. L.), ASA Spec. Publ. 44, Am. Soc. Agron., Madison, WI, SAD, 29-43. doi: 10.2134/asaspecpub44.c3

159. Klocke, N., Currie, R., Aiken, R. (2009). Soil water evaporation and crop residues. Transactions of the ASABE, 52 (1): 103–110.

160. Koch, H.-J., Stockfisch, N. (2006). Loss of soil organic matter upon ploughing under a loess soil after several years of conservation tillage. Soil Till Res, 86 (1): 73-83.

161. Koch, H.-J., Heuer, H., Tomanova, O., Märländer, B. (2008). Cumulative effect of annually repeated passes of heavy agricultural machinery on soil structural properties and sugar beet yield under two tillage systems. Soil Till Res, 101 (1-2): 69-77. doi: 10.1016/j.still.2008.07.008

162. Komljenović, I., Jug, D., Marković, M., Kovačević, V., Mišić, M. (2013). Reduced tillage as the agricultural techniques in agricultural productivity and to mitigate climate change in Croatia and Bosnia and Herzegovina. U: Proceedings of the Scientific-technical conference "Environment protection between science and practice–status and perspectives“ Vol. 13, 401-412.

163. Košutić, S., Filipović, D., Gospodarić, Z. (2001). Maize and winter wheat production with different soil tillage systems on silty loam. Agr Food Sci Finland, 10: 81-90.

164. Košutić, S., Filipović, D., Gospodarić, Z., Husnjak, S., Kovačev, I., Čopec, K. (2005). Impact of Different Soil Tillage Systems on Maize, Winter Wheat and Soybean Production on Albic Luvisol in North-West Slavonia. Journal of Central European Agriculture, 6 (3): 241-248.

165. Košutić, S., Filipović, D., Gospodarić, Z., Husnjak, S., Zimmer, R., Kovačev, I. (2006). Usporedba različitih sustava obrade tla u proizvodnji soje i ozime pšenice u Slavoniji. Agronomski glasnik 68 (5): 381-392.

166. Kováč, K., Macak, M., Švančárková, M. (2005). The effect of soil conservation tillage on soil moisture dynamics under single cropping and crop rotation. Plant Soil Environ, 3: 124-130.

167. Kovács, G. P., Simon, B., Balla, I., Bozóki, B., Dekemati, I., Gyuricza, C., Percze, A., Birkás, M. (2023). Conservation tillage improves soil quality and crop yield in Hungary. Agronomy, 13 (3): 894. doi: 10.3390/agronomy13030894

168. Kovačev, I., Čopec, K., Fabijanić, G., Košutić, S., Filipović, D. (2016). Energy and labour efficiency of tillage systems in oilseed rape and barley production. U: Proceedings of the 44th International Symposium on Agricultural Engineering, Actual Tasks on Agricultural Engineering (ur. Kovačev I.), Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, 195-203.

169. Kuhwald, M., Blaschek, M., Minkler, R., Nazemtseva, Y., Schwanebeck, M., Winter, J., Duttmann, R. (2016). Spatial analysis of long-term effects of different tillage practices based on penetration resistance. Soil Use Manage, 32 (2): 240-249. doi: 10.1111/sum.12254

170. Küstermann, B., Munch, J. C., Hülsbergen, K. J. (2013). Effects of soil tillage andfertilization on resource efficiency and greenhouse gas emissions in along-term field experiment in southern Germany. Eur J Agron, 49: 61–73.

171. Khan, I., Chen, T., Farooq, M., Luan, C., Wu, Q., Wanning, D., Xu, S., Li-xue, W. (2021). The residual impact of straw mulch and biochar amendments on soil physiochemical properties and yield of maize under rainfed system. Agronomy Journal, 113 (2): 1102-1120. doi: 10.1002/agj2.20540

172. Labuschagne, J., van Zyl, J., Agenbag, G. A., Crous, I. R., Hoffman, J. E. (2020). Effect of once-off tillage on soil water, inorganic nitrogen and glomalin contents under conservation agriculture in the Swartland sub-region of the Western Cape. South African J of Plant and Soil, 37 (4): 273–282. doi:10.1080/02571862.2020.175006

173. Lal, R., Stewart, B. A. (1995). Need for long-term experiments in sustainable use of soil resources. U: Soil Management: Experimental Basis for Sustainability and Environmental Quality (ur. Lal R., Stewart B.A.), CRC/Lewis Publishers, Boca Raton, FL, SAD, str. 537-545.

174. Lal, R. (2015). Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture. JTV 70: 55A−62A. doi: 10.2489/jTV.70.3.55A

175. Lang, R. (1915). Versuch einer exakten Klassifikation der Böden in klimatischer und geologischer Hinsicht, Internationale Mitteilungen für Bodenkunde 5, 313.

176. Lammerding, D. M., Hontoria, C., Tenorio, J. L., Walter, I. (2011). Mediterranean Dryland Farming: Effect of Tillage Practices on Selected Soil Properties. Agronomy Journal, 103 (2): 382. doi:10.2134/agronj2010.0210

177. Lampurlanés, J., Angás, P., Cantero-Martínez, C. (2001). Root growth, soil water content and yield of barley under diferent tillage systems on two soils in semiarid conditions. Field Crop Res, 69: 27-40.

178. Lampurlanés, J., Cantero-Martinez, C. (2003). Soil bulk density and penetration resistance under diferent tillage and crop management systems and their relationship with barley root growth. Agron J, 95 (3): 526-536. doi: 10.2134/agronj2003.5260

179. Lemke, R. L., VandenBygaart, A. J., Campbell, C. A., Lafond, G. P., Grant, B. (2010). Crop residue removal and fertilizer N: effects on soil organic carbon in a long-term crop rotation experiment on a Udic Boroll. Agriculture Ecosystems and Environment, 135: 42-51.

180. Li, X. Y. (2003). Gravel–sand mulch for soil and water conservation in the semiarid loess region of northwest China. Catena, 52 (2): 105-127.

181. Li, J., Wang, Y.-K., Guo, Z., Li, J.-B., Tian, C., Hua, D.-W., Shi, C.-D., Wang, H.-Y., Han, J.-C., Xu, Y. (2020). Effects of Conservation Tillage on Soil Physicochemical Properties and Crop Yield in an Arid Loess Plateau, China Sci Rep, 10: 4716. doi: 10.1038/s41598-020-61650-7

182. Li, Y., Li, Z., Cui, S., Jagadamma, S., Zhang, Q. (2019). Residue retention and minimum tillage improve physical environment of the soil in croplands: A global meta-analysis. Soil Till Res, 194: 104292. doi: 10.1016/j.still.2019.06.009

183. Li, R., Li, Q., Zhang, J., Liu, Z., Pan, L., Huang, K., Zhang, L. (2020). Effects of Organic Mulch on Soil Moisture and Nutrients in Karst Area of Southwest China. Pol J Environ Studies, 29 (6): 4164-4174. doi: 10.15244/pjoes/119477

184. Liebhard, G., Klik, A., Neugschwandtner, R. W., Nolz, R. (2022). Effects of tillage systems on soil water distribution, crop development, and evaporation and transpiration rates of soybean. Agricultural Water Management, 269: 107719.

185. Linden, D. R., Clapp, C. E., Dowdy, R. H. (2000). Long-term corn grain and stover yields as a function of tillage and residue removal in east central Minnesota. Soil Till Res, 56 (3): 167-174

186. Locher, W.P., De Bakker, H. (1990). Bodemkunde van Nederland. Deel 1- Algemene bodemkunde, Malmberg, Den Bosch, Nizozemska.

187. López-Garrido, R., Madejón, E., León-Camacho, M., Girón, I., Moreno, F., Murillo, J. M. (2014). Reduced tillage as an alternative to no-tillage under Mediterranean conditions: A case study. Soil Till Res, 140: 40-47. doi: 10.1016/j.still.2014.02.008

188. Lu, X., Li, Z., Sun, Z., Bu, Q. (2015). Straw mulching reduces maize yield, water, and nitrogen use in Northeastern China. Agron J, 107 (1): 406-414. doi: 10.2134/agronj14.0454

189. Lynch, J. M., Bragg, E. (1985). Microorganisms and soil aggregate stability. Adv Soil Sci, 198: 133-171.

190. Ma, L., Kong, F., Wang, Z., Luo, Y., Lv, X., Zhou, Z., Meng, Y. (2019). Growth and yield of cotton as affected by different straw returning modes with an equivalent carbon input. Field Crop Res, 243: 107616. doi: 10.1016/j.fcr.2019.107616

191. Macák, M., Candráková, E., Đalović, I., Prasad, P. V. V., Farooq, M., Korczyk-Szabó, J., Kováčik, P., Šimanský, V. (2020). The Influence of Different Fertilization Strategies on the Grain Yield of Field Peas (Pisum sativum L.) under Conventional and Conservation Tillage. Agronomy, 10 (11): 1728. doi:10.3390/agronomy10111728

192. Madarász, B., Juhos, K., Ruszkiczay-Rüdiger, Z., Benke, S., Jakab, G., Szalai, Z. (2016). Conservation tillage vs. conventional tillage: long-term effects on yields in continental, sub-humid Central Europe, Hungary. International Journal of Agricultural Sustainability, 14 (4): 408-427.

193. Mäder, P., Berner, A. (2012). Development of reduced tillage systems in organic farming in Europe. Renewable Agric Food Syst, 27 (1): 7-11. doi:10.1017/s1742170511000470

194. Małecka, I., Blecharczyk, A., Sawińska, Z., Swędrzyńska, D., Piechota, T. (2015). Winter wheat yield and soil properties response to long-term non-inversion tillage. J Agric Sci Technol, 17: 1571-1584.

195. Malhi, S. S., Lemke, R. (2007). Tillage, crop residue and N fertilizer effects on cropyield nutrient uptake, soil quality and nitrous oxide gas emissions in a second 4-yr rotation cycle. Soil Till Res, 96: 269-283.

196. Martínez, I., Ovalle, C., Del Pozo, A., Uribe, H., Valderrama, N., Prat, C., Sandoval, M., Fernandez, F., Zagal, E. (2011). Influence of conservation tillage and soil water content on crop yield in dryland compacted Alfisol of Central Chile. Chilean Journal of agricultural research, 71 (4): 615-622.

197. Masood, T. K., Ali, N. S. (2023). Effect of Different Soil Organic Carbon Content in Different Soils on Water Holding Capacity and Soil Health IOP Conference Series. Earth and Environmental Science, 1158 (2): 022035. doi:10.1088/1755-1315/1158/2/022035

198. McVay, K. A., Budde, J. A., Fabrizzi, K., Mikha, M. M., Rice, C. W., Schlegel, A. J., Thompson, C. (2006). Management effects on soil physical properties in longterm tillage studies in Kansas. Soil Sci Soc Am J, 70: 434-438. doi:10.2136/sssaj2005.0249

199. Meral, R., Demir, A. D., Demir, Y., Malasli, M. Z., Turan, V. (2015). The improvement of soil water holding capacity, infiltration rate, and aggregate stability with different soil conditioners. Fresensius Environmental Bulletin, 24 (11): 3550-3555.

200. Meyer-Aurich, A., Weersink, A., Janovicek, K., Deen, B. (2006). Cost efficient rotation and tillage options to sequester carbon and mitigate GHG emissions from agriculture in Eastern Canada. Agriculture, ecosystems & environment, 117 (2-3): 119-127. doi: 10.1016/j.agee.2006.03.023

201. Michnovskaja, A. D., Kiritchenko, T. P., Suleimanova, D. G. (1986). Effect of soil tillage methods on the microbiological processes, content and quality of organic matter in Chernozems Lesostepi of Ukraine. Res. works of AAS, 5: 62-73.

202. Mihalić, V., Butorac, A. (1969). Utjecaj različite dubine oranja i različitih količina mineralnih gnojiva na prinos kukuruza. Agronomski glasnik 10 (12): 663-674.

203. Mondal, S., Naik, S. K., Haris, A. A., Mishra, J. S., Mukherjee, J., Rao, K. K., Bhatt, B. P. (2020). Effect of conservation tillage and rice-based cropping systems on soil aggregation characteristics and carbon dynamics in Eastern Indo-Gangetic Plain. Paddy and Water Environment, 18 (3): 573-586.

204. Mulumba, L. N., Lal, R. (2008). Mulching effects on selected soil physical properties. Soil Till Res, 98 (1): 106-111.

205. Munkholm L. J. (2011). Soil friability: A review of the concept, assessment and effects of soil properties and management. Geoderma, 167-168: 236246. doi: 10.1016/j.geoderma.2011.08.005

206. Mupangwa, W., Twomlow, S., Walker, S. (2013). Cumulative effects of reduced tillage and mulching on soil properties under semi-arid conditions. Journal of Arid Environments, 91: 45-52. doi:10.1016/j.jaridenv.2012.11.007

207. Nhamo, N., Chikoye, D., Gondwe, T. (2017). Smart Technologies for Sustainable Smallholder Agriculture. Academic Press, Cambridge, MA, SAD.

208. Nichols, K. A., Toro, M. A. (2011). Whole soil stability index (WSSI) for evaluating soil aggregation. Soil Till Res, 111: 99-104.

209. Norton, L. D., Mamedov, A. I., Huang, C., Levy, G. J. (2006). Soil aggregate stability as affected by long-term tillage and clay type. Advances in GeoEcology, 38: 422-429.

210. Oorts, K., Garnier, P., Findeling, A., Mary, B., Richard, G., Nicolardot, B. (2007a). Modeling soil carbon and nitrogen dynamics in no-till and conventional tillage using PASTIS model. Soil Sci Soc Am J, 71: 336-346.

211. Oorts, K., Laurent, F., Mary, B., Thiébeau, P., Labreuche, J., Nicolardot, B. (2007b) Experimental and simulated soil mineral N dynamics for long-term tillage systems in Northern France. Soil Till Res, 94: 441-456.

212. Ordoñez-Morale, K. D., Cadena-Zapata, M., Zermeño González, A., Campos-Magaña, S. (2019). Effect of tillage systems on physical properties of a clay loam soil under oats. Agriculture, 9 (3): 1-14. doi: 10.3390/agriculture9030062

213. Page, K. L., Dang, Y. P., Dalal, R. C. (2020). The ability of conservation agriculture to conserve soil organic carbon and the subsequent impact on soil physical, chemical, and biological properties and yield. Front Sustain Food Syst, 4: 31. doi: 10.3389/fsufs.2020.00031

214. Palm, C., Blanco-Canqui, H., Declerck, F., Gatere, L., Grace, P. (2014). Conservation agriculture and ecosystem services: an overview. Agric Ecosyst Environ, 187: 87-105.

215. Pan, G., Smith, P., Pan, W. (2009). The role of soil organic matter in maintaining theproductivity and yield stability of cereals in China. Agric Ecosyst Environ, 129: 344-348.

216. Panagea, I. S., Apostolakis, A., Berti, A., Bussell, J., Čermak, P., Diels, J., Elsen, A., Kusa, H., Piccoli, I., Poesen, J., Stoate, C., Tits, M., Toth, Z., Wyseure, G. (2022). Impact of agricultural management on soil aggregates and associated organic carbon fractions: Analysis of long-term experiments in Europe. SOIL, 8: 621–644. doi: 10.5194/soil-8-621-2022

217. Paul, B. K., Vanlauwe, B., Ayuke, F., Gassner, A., Hoogmoed, M., Hurisso, T. T., Koala, S., Lelei, D., Ndabamenye, T., Pulleman, M. M. (2013). Medium-term impact of tillage and residue management on soil aggregate stability, soil carbon and crop productivity. Agric Ecosyst Environ, 164: 14-22. doi: 10.1016/j.agee.2012.10.003

218. Pavlů, L., Kodešová, R., Fér, M., Nikodem, A., Němec, F., Prokeš, R. (2021). The impact of various mulch types on soil properties controlling water regime of the Haplic Fluvisol. Soil Till Res, 205: 104748. doi: 10.1016/j.still.2020.104748

219. Peng, Z., Ting, W., Haixia, W., Min, W., Xiangping, M., Siwei, M., Rui, Z., Zhikuan, J., Qingfang, H. (2015). Effects of straw mulch on soil water and winter wheat production in dryland farming. Scientific Reports, 5, 10725. doi:10.1038/srep10725

220. Peng, Z., Wang, L., Xie, J., Li, L., Coulter, J. A., Zhang, R., Luo, Z., Cai, L., Carberry, P., Whitbread, A. (2020). Conservation tillage increases yield and precipitation use efficiency of wheat on the semi-arid Loess Plateau of China. Agricultural Water Management, 231: 106024. doi:10.1016/j.agwat.2020.106024

221. Peng, Q., Liu, B., Hu, Y., Wang, A., Guo, Q., Yin, B., Cao, Q., He, L. (2023). The role of conventional tillage in agricultural soil erosion. Agriculture, Ecosystems & Environment, 348: 108407. doi: 10.1016/j.agee.2023.108407

222. Penzar, I., Penzar, B. (2000). Agrometerologija. Školska knjiga, Zagreb, Hrvatska.

223. Peralta, G., Alvarez, C. R., Taboada, M. A. (2021). Soil compaction alleviation by deep non-inversion tillage and crop yield responses in no tilled soils of the Pampas region of Argentina. A meta-analysis. Soil Till Res, 211 (3): 105022. doi: 10.1016/j.still.2021.105022

224. Pernar, N. (2017). Tlo – nastanak, značajke, gospodarenje. Sveučilište u Zagrebu Šumarski fakultet, Zagreb, Hrvatska.

225. Pervaiz, M. A., Iqbal, M., Shahzad, K., Hassan, A. U. (2009). Effect of mulch on soil physical properties and N, P, K concentration in maize (Zea mays L.) shoots under two tillage systems. Int J Agric Biol, 11 (2): 119-124.

226. Peterson, G. A., Westfall, D. G. (2004). Managing precipitation use in sustainable dryland agroecosystems. Annals of Applied Biology, 144, 127-138.

227. Pittelkow, C. M., Liang, X. Q., Linquist, B. A., van Groenigen, K. J., Lee, J., Lund, M. E., van Gestel, N., Six, J., Venterea, R. T., van Kessel, C. (2015). Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. Nature, 517: 368-368. doi: 10.1038/nature13809

228. Pituello, C., Polese, R., Morari, F., Berti, A. (2016). Outcomes from a long-term study on crop residue effects on plant yield and nitrogen use efficiency in contrasting soils. Eur J Agron 77: 179-187. doi: 10.1016/j.eja.2015.11.027.

229. Poslovni.hr (2017) Hrvatska izvozi mulj, slamu, koralje, lišće, grane, vinski talog, životinjska crijeva… Dostupno na: https://www.poslovni.hr/hrvatska/hrvatska-izvozi-mulj-slamu-koralje-lisce-grane-vinski-talog-zivotinjska-crijeva-332114 [Pristupljeno: 12.10.2023]

230. Pospišil, A. (2010). Ratarstvo – I. dio. Zrinski, Čakovec, Hrvatska.

231. Powlson, D. S., Glendining, M. J., Coleman, K., Whitmore, A. P. (2011). Implications for soil properties of removing cereal straw: results from long-term studies. Agronomy Journal 103: 279-287.

232. Powlson, D. S., Bhogal, A., Chambers, B. J., Coleman, K., Macdonald, A. J., Goulding, K. W. T., Whitmore, A. P. (2012). The potential to increase soil carbon stocks through reduced tillage or organic material additions in England and Wales: A case study. Agriculture, Ecosystems & Environment, 146 (1): 23-33. doi:10.1016/j.agee.2011.10.004

233. Prasad, K. K., Veerendra, M., Mahajan, N. C., Mrunalini, K., Sirisha, L., Reddy, T. V., Naresh, R. K. (2019). Water-Stable aggregates and soil organic carbon fractions in a sub-tropical RWCS under variable tillage and precision nutrient management: A review. IJCS, 7 (3): 2228-2240.

234. Qamar, R., Ullah, E., Saqib, M., Javeed, H. M. R., Rehman, A., Ali, A. (2015). Influence of tillage and mulch on soil physical properties and wheat yield in rice-wheat system. West African Journal of Applied Ecology, 23 (1): 21-38.

235. Qin, W., Chi, B., Oenema, O. (2013). Long-term monitoring of rainfed wheat yield and soil water at the Loess Plateau reveals low water use efficiency. PLoS One 8, e78828.

236. Romaneckas, K., Romaneckienė, R., Šarauskis, E., Pilipavičius, V., Sakalauskas, A. (2009). The effect of conservation primary and zero tillage on soil bulk density, water content, sugar beet growth and weed infestation. Agronomy Research, 7: 73-86.

237. Roper, M. M., Gupta, V. V. S. R., Murphy, D. V. (2010). Tillage practices altered labile soil organic carbon and microbial function without affecting crop yields. Australian Journal of Soil Research, 48 (3): 274-285.

238. Rieke, E. L., Bagnall, D. K., Morgan, C. L., Flynn, K. D., Howe, J. A., Greub, K. L. H., Mac Bean, G., Cappellazzi, S. B., Cope, M., Liptzin, D., Norris, C. E., Tracy, P. W., Aberle, E., Ashworth, A., Tavarez, O. B., Bary, A. I., Baumhardt, R.L., Gracia, A. B., Brainard, B. C., Brennan, J. R., Reyes, D. B., Bruhjell, D., Carlyle, C. N., Crawford, J. J. W., Creech, C. F., Culman, S. W., Deen, B., Dell, C. J., Derner, J. D., Ducey, T. F., Duiker, S. W., Dyck, M. F., Ellert, B. H., Entz, M. H., Solorio, A. E., Fonte, S. J., Fonteyne, S., Fortuna, A.-M., Foster, J. L., Fultz, L. M., Gamble, A. V., Geddes, C. M., Griffin-LaHue, D., Grove, J. H., Hamilton, S. K., Hao, X., Hayden, Z. D., Honsdorf, N., Ippolito, J. A., Johnson, G. A., Kautz, M. A., Kitchen, N. R., Kumar, S., Kurtz, K. S. M., Larney, F. J., Lewis, K. L., Liebman, M., Ramirez, A. L., Machado, S., Maharjan, B., Gamiño, M. A. M., May, W. E., McClaran, M. P., McDaniel, M. D., Millar, N., Mitchell, J.P., Moore, A. D., Moore, P. A., Gutiérrez, M. M., Nelson, K. A., Omondi, E. C., Osborne, S. L., Alcalá, L. O., Owens, P., Pena-Yewtukhiw, E. M., Poffenbarger, H. J., Ponce Lira, B., Reeve, J. R., Reinbott, T. M., Reiter, M. S., Ritchey, E. L., Roozeboom, K. L., Rui, Y., Sadeghpour, A., Sainju, U. M., Sanford, G. R., Schillinger, W. F., Schindelbeck, R. R., Schipanski, M. E., Schlegel, A. J., Scow, K. M., Sherrod, L. A., Shober, A. L., Sidhu, S. S., Moya, E. S. St. Luce, M., Strock, J. S., Suyker, A. E., Sykes, V. R., Tao, H., Campos, A. T., Van Eerd, L. L., van Es, H. M., Verhulst, N., Vyn, T. J., Wang, Y., Watts, D. B., Wright, D. L., Zhang, T., Honeycutt, C. W. (2022). Evaluation of aggregate stability methods for soil health. Geoderma, 428, 116156. doi: 10.1016/j.geoderma.2022.116156

239. Romić, D., Marušić, J. (2005). Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u Republici Hrvatskoj. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

240. Rusu, T., Pacurar, I., Dirja, M., Pacurar, H. M., Oroian, I., Cosma, S. A., Gheres, M. (2013). Effect of tillage systems on soil properties, humus and water conservation. Agricultural Sciences, 4 (5): 35.

241. Sadiq, M., Li, G., Rahim, N., Tahir, M.M. (2021). Sustainable Conservation Tillage Technique for Improving Soil Health by Enhancing Soil Physicochemical Quality Indicators under Wheat Mono-Cropping System Conditions. Sustainability, 13: 8177. https://doi.org/10.3390/su13158177

242. Salama, K., Geyer, M. (2023). Plastic mulch films in agriculture: Their use, environmental problems, recycling and alternatives. Environments, 10 (10): 179. doi: 10.3390/environments10100179

243. Salem, H. M., Valero, C., Muñoz, M. Á., Rodríguez, M. G., Silva, L. L. (2015). Short-term effects of four tillage practices on soil physical properties, soil water potential, and maize yield. Geoderma, 237-238: 60-70. doi: 10.1016/j.geoderma.2014.08.014

244. Sarker, T. C., Incerti, G., Spaccini, R., Piccolo, A., Mazzoleni, S., Bonanomi, G. (2018). Linking organic matter chemistry with soil aggregate stability: insight from 13C NMR spectroscopy. Soil Biol Biochem, 117: 175-184. doi: 10.1016/j.soilbio.2017.11.011

245. Saroa, G. S., Lal, R. (2003). Soil restorative effects of mulching on aggregation and carbon sequestration in a Miamian soil in central Ohio. Land Degradation & Development, 14 (5): 481-493. doi: 10.1002/ldr.569

246. Sartori, F., Piccoli, I., Polese, R., Berti, A. (2022). Transition to conservation agriculture: how tillage intensity and covering affect soil physical parameters. Soil, 8 (1): 213-222. doi: 10.5194/soil-8-213-2022

247. Sharma, P., Abrol, V., Sharma, R. K. (2011). Impact of tillage and mulch management on economics, energy requirement and crop performance in maize-wheat rotation in rainfed subhumid inceptisols, India. Eur J Agron, 34 (1): 46-51. doi: 10.1016/j.eja.2010.10.003

248. Siczek, A., Lipiec, J. (2011). Soybean nodulation and nitrogen fixation in response to soil compaction and surface straw mulching. Soil Till Res, 114 (1): 50-56. doi: 10.1016/j.still.2011.04.001.

249. Singh, P., Heikkinen, J., Ketoja, E., Nuutinen, V., Palojärvi, A., Sheehy, J., Esala, M., Mitra, S., Alakukku, L., Regina, K. (2015). Tillage and Crop Residue Management Methods Had Minor Effects on the Stock and Stabilization of Topsoil Carbon in a 30-Year Field Experiment. Sci Total Environ, 518-519: 337-344.

250. Six, J., Elliott, E.T., Paustian, K. (2000). Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. Soil Biol Biochem, 32 (14): 2099-2103. doi: 10.1016/S0038-0717(00)00179-6

251. Six, J., Elliott, E. T., Paustian, K. (2000b). Soil structure and soil organic matter: II. A normalized stability index and the effect of mineralogy. Soil Sci Soc Am J, 64 (3): 1042-1049. doi: 10.2136/sssaj2000.6431042x

252. Skaalsveen, K., Ingram, J., Clarke, L. E. (2019). The effect of no-till farming on the soil functions of water purification and retention in north-western Europe: A literature review. Soil Till Res, 189: 98-109. doi:10.1016/j.still.2019.01.004

253. Slepetiene, A., Slepetys, J. (2005). Status of humus in soil under various long-term tillage systems. Geoderma, 127 (3-4): 207-215. doi:10.1016/j.geoderma.2004.12.00

254. Sławiński, C., Cymerman, J., Witkowska-Walczak, B., Lamorski, K. (2012). Impact of diverse tillage on soil moisture dynamics. Int Agrophys, 26: 301-309. doi: 10.2478/v10247-012-0043-5

255. Soane, B. D., Ball, B. C., Arvidsson, J., Basch, G., Moreno, F., Roger-Estrade, J. (2012). No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment, Soil Till Res, 118: 66-87. doi: 10.1016/j.still.2011.10.015.

256. Song, K., Zheng, X., Lv, W., Qin, Q., Sun, L., Zhang, H., Xue, Y. (2019). Effects of tillage and straw return on water-stable aggregates, carbon stabilization and crop yield in an estuarine alluvial soil. Scientific Reports, 9 (1): 1-11.

257. Spinoni, J., Naumann, G., Vogt, J., Barbosa, P. (2015). European drought climatologies and trends based on a multi-indicator approach. Glob Planet Chang, 127, 50-57. doi: 10.1016/j.gloplacha.2015.01.012

258. Stanek-Tarkowska, J., Czyz, E. A., Dexter, A. R., Sławiński, C. (2018). Effects of reduced and traditional tillage on soil properties and diversity of diatoms under winter wheat. International Agrophysics, 32 (3): 403-409. https://doi.org/10.1515/intag-2017-0016

259. Stošić, M., Brozović, B., Vinković, T., Ravnjak, B., Kluz, M., Zebec, V. (2020). Soil resistance and bulk density under different tillage system. Poljoprivreda, 26 (1): 17-24. doi: 10.18047/poljo.26.1.3

260. Su, W., Lu, J., Wang, W., Li, X., Ren, T., Cong, R. (2014). Influence of rice straw mulching on seed yield and nitrogen use efficiency of winter oilseed rape (Brassica napus L.) in intensive rice–oilseed rape cropping system. Field Crop Res, 159: 53-61. doi: 10.1016/j.fcr.2014.01.007

261. Su, Y., Gabrielle, B., Makowski, D. (2021). A global dataset for crop production under conventional tillage and no tillage systems. Sci dana, 8: 33. doi: 10.1038/s41597-021-00817-x

262. Sui, N., Zhou, Z., Yu, C., Liu, R., Yang, C., Zhang, F., Song, G., Meng, Y. (2015). Yield and potassium use efficiency of cotton with wheat straw incorporation and potassium fertilization on soils with various conditions in the wheat–cotton rotation system. Field Crops Research, 172, 132-144. doi: 10.1016/j.fcr.2014.11.011

263. Sutri, M., Shanskiy, M., Ivask, M., Reintam, E. (2022). The assessment of soil quality in contrasting land-use and tillage systems on farm fields with STAGNIC Luvisol soil in Estonia. Agriculture, 12 (12): 2149. doi: 10.3390/agriculture12122149

264. Suying, C., Xiying, Z., Dong, P. and Hongyong, S. (2005). Effects of corn straw mulching on soil temperature and soil evaporation of winter wheat field. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering, 10, 038.

265. Šimanský, V., Polláková, N., Jonczak, J., Jankowski, M. (2016). Which soil tillage is better in terms of the soil organic matter and soil structure changes?. Journal of Central European Agriculture, 17 (2): 391-401. doi: 10.5513/JCEA01/17.2.1720

266. Šimunić, I. (2013). Uređenje voda, Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb

267. Škorić, A., Filipovski, G., Ćirić, M. (1985). Klasifikacija zemljišta Jugoslavije, Posebno izdanje knjiga Akademije nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine - odjela prirodnih i matematičkih nauka, Sarajevo, BiH

268. Škorić, A. (1991). Sastav i svojstva tla. Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb

269. Španić, V. (2016). Pšenica. Poljoprivredni institut Osijek.

270. Špoljar, A., Kvaternjak, I., Kisić, I., Marenčić, D., Orehovački, V. (2010). Utjecaj obrade na tlo, prinose, sadržaj ukupnih mastiff i bjelančevina u zrnu kukuruza. Agronomski glasnik, 72 (2/3): 91-110.

271. Taylor, H. M., Gardner, H. R. (1963). Penetration of cotton seedling taproot as influenced by bulk density, moisture content, and strength of the soil. Soil Sci, 96: 153-156.

272. Taylor, H. M. (1983). Managing root systems for efficient water use: An overview. U: Limitations to efficient water use in crop production (ur. Taylor H. M., Jordan W. R., Sinclair T. R.), ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, SAD.

273. Telak, L. J., Pereira, P., Ferreira, C. S., Filipovic, V., Filipovic, L., Bogunovic, I. (2020). Short-term impact of tillage on soil and the hydrological response within a fig (Ficus Carica) orchard in Croatia. Water, 12 (11): 3295.

274. Thai, S., Davídek, T., Pavlů, L. (2022). Causes clarification of the soil aggregates stability on mulched soil. Soil Water Res, 17 (2): 91-99.

275. Tiarks, A. E., Mazurak, A. P., Chesnin, L. (1974). Physical and chemical properties of soil associated with heavy applications of manure from cattle feedlots. Soil Science Society of America Journal, 38 (5): 826-830.

276. Tisdall, J. M., Oades, J. M. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. J Soil Sci 33: 141-163.

277. Tiwar, H., Naresh, R. K., Kumar, Y., Bhatt, R., Manisha, Rajput, N., Tiwari, A., Chandra, M. S., Singh, S. (2022). Soil water content, penetration resistance, crumb ratio and soil carbon restoration through conservation agriculture: An overview. The Pharma Innovation Journal, SP-11 (6): 217-243.

278. Toliver, D. K., Larson, J. A., Roberts, R. K., English, B. C., De La Torre Ugarte, D. G., West, T. O. (2012). Effects of no-till on yields as influenced by crop and environmental factors. Agronomy journal, 104 (2): 530-541. doi: 10.2134/agronj2011.0291

279. Topa, D., Cara, I. G., Jităreanu, G. (2021). Long term impact of different tillage systems on carbon pools and stocks, soil bulk density, aggregation and nutrients: A field meta-analysis. Catena, 199, 105102. doi:10.1016/j.catena.2020.105102

280. Tormena, C. A., Karlen, D. L., Logsdon, S., Cherubin, M. R. (2017). Corn stover harvest and tillage impacts on near-surface soil physical quality. Soil Tillage Res, 166: 122-130.

281. Troccoli, A., Maddaluno, C., Mucci, M., Russo, M., Rinaldi, M. (2015). Is it appropriate to support the farmers for adopting conservation agriculture? Economic and environmental impact assessment. Ital J A, 10 (4): 169-177. doi: 10.4081/ija.2015.661

282. Turley, D. B., Phillips, M. C., Johnson, P., Jones, A. E., Chambers, B. J. (2003). Long-term straw management effects on yields of sequential wheat (Triticum aestivum L.) crops in clay and silty clay loam soils in England. Soil Till Res, 71 (1): 59-69.

283. 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 till res, 45 (1-2): 39-57. doi: 10.1016/S0167-1987(97)00068-8

284. Unkovich, M., McBeath, T., Moodie, M., Macdonald, L. M. (2023). High soil strength and cereal crop responses to deeper tillage on sandy soils in a semi-arid environment. Field Crops Research, 291, 108792. doi: 10.1016/j.fcr.2022.108792

285. USDA (2017). Soil survey manual. Soil Conservation Service Handbook 18. Government Printing Office, Washington, DC. p. 117. Dostupno na: https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-09/The-Soil-Survey-Manual.pdf [Pristupljeno 2 svibnja 2023].

286. Vetsch, J. A., Randall, G. W., Lamb, J. A. (2007). Corn and soybean production as affected by tillage systems. Agron J, 99: 952-959

287. Videnović, Ž., Simić, M., Srdić, J. Dumanović, Z. (2011). Long term efects of diferent soil tillage systems on maize (Zea mays L.) yields. Plant Soil Environ, 57: 186-192. doi: 10.17221/443/2010-PSE

288. Vučić, N. (1987). Vodni, vazdušni i toplotni režim zemljišta. Vojvođanska akademija nauka i umjetnosti, Radovi, Knjiga VII, Odjeljenje prirodnih nauka, Knjiga I, Novi Sad.

289. Wang, S. B., Guo, L. L., Zhou, P. C., Wang, X. J., Shen, Y., Han, H. F., Ning, T. Y., Han, K. (2019). Effect of subsoiling depth on soil physical properties and summer maize (Zea mays L.) yield. Plant Soil Environ, 65 (3): 131-137. doi: 10.17221/703/2018-PSE

290. Wang, W., Akhtar, K., Ren, G., Yang, G., Feng, Y., Yuan, L. (2019). Impact of straw management on seasonal soil carbon dioxide emissions, soil water content, and temperature in a semi-arid region of China. Science of the Total Environment, 652: 471-482.

291. Wang, H., Zheng, J., Fan, J., Zhang, F., Huang, C. (2021). Grain yield and greenhouse gas emissions from maize and wheat fields under plastic film and straw mulching: A meta-analysis. Field Crops Research, 270: 108210.

292. Wesołowska, S., Danił kiewicz, D., Gawęda, D., Haliniarz, M., Rusecki, H., Łukasz, J. (2022). The Effect of Tillage Systems and Weed Control Methods on the Yield and Quality of Spelt Grain (Triticum aestivum ssp. spelta L.). Agriculture, 12 (9): 1390. doi: 10.3390/agriculture12091390

293. Whitmore, A. P., Whalley, W. R., Bird, N. R. A., Watts, C. W., Gregory, A. S. (2011). Estimating soil strength in the rooting zone of wheat. Plant Soil, 339: 363-375.

294. Woźniak, A., Gos, M. (2014). Yield and quality of spring wheat and soil properties as affected by tillage system Original Paper. Plant, Soil and Environment, 60 (4): 141-145. doi: 10.17221/7330-PSE

295. Wu, G., Liu, Y., Tian, F., Shi, Z. (2017). Legumes Functional Group Promotes Soil Organic Carbon and Nitrogen Storage by Increasing Plant Diversity. Land Degrad Dev. 28, 1336-1344

296. Yan, Q. Y., Dong, F., Lou, G., Yang, F., Lu, J., Li, F., Zhang, J., Li, J., Duan, Z. (2018). Alternate row mulching optimizes soil temperature and water conditions and improves wheat yield in dryland farming. J integr agr, 17 (11): 2558-2569. doi: 10.1016/S2095-3119(18)61986-0

297. Zaninović, K., Gajić – Čapka, M., Perčec Tadić, M. (2008). Klimatski atlas Hrvatske – Climate Atlas of Croatia 1961.-1990., 1971.- 2000. DHMZ, Zagreb, Hrvatska

298. Zebec, V., Lončarić, Z., Zimmer, R., Jug, D., Kufner, M., Radaković, U. (2009). Utjecaj gnojidbe dušikom i obrade tla na prinos pšenice. Zbornik radova, 44, 671-675.

299. Zimmer, R., Košutić, S., Zimmer, D. (2009). Poljoprivredna tehnika u ratarstvu, PFOS, Osijek.

300. Zhang, X., Li, H., He, J., Wang, Q., Golabi, M. H. (2009). Influence of conservation tillage practices on soil properties and crop yields for maize and wheat cultivation in Beijing, China. Australian Journal of Soil Research, 47 (4): 362. doi:10.1071/sr08110

301. Zhang, J. B., Yang, J. S., Yao, R. J., Yu, S. P., Li, F. R., Hou, X. J. (2014). The effects of farmyard manure and mulch on soil physical properties in a reclaimed coastal tidal flat salt-affected soil. Journal of Integrative agriculture, 13 (8): 1782-1790. doi: 10.1016/S2095-3119(13)60530-4

302. Zhang, L., Zheng, J. C., Chen, L., Shen, M., Zhang, X., Zhang, M., Bian, M. Q., Zhang, J., Zhang, W. J. (2015). Integrative effects of soil tillage and straw management on crop yields and greenhouse gas emissions in a rice–wheat cropping system. European Journal of Agronomy, 63: 47-54. doi:10.1016/j.eja.2014.11.005

303. Zhu, L., Hu, N., Yang, M., Zhan, X., Zhang, Z. (2014). Effects of Different Tillage and Straw Return on Soil Organic Carbon in a Rice-Wheat Rotation System. PLoS ONE, 9 (2): e88900. doi:10.1371/journal.pone.0088900

8. ŽIVOTOPIS

Luka Brezinščak rođen je 9. svibnja 1990. godine u Zagrebu. Nakon završene VIII. opće gimnazije „Tituš Brezovački“, 2009. godine upisuje preddiplomski studij „Agroekologija“ na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Nakon završetka preddiplomskog, upisuje diplomski studij „Ekološka poljoprivreda i agroturizam“, na kojem diplomira 2015. godine. Nakon završetka diplomskog studija, 2016. godine, zapošljava se na Sveučilištu u Zagrebu Agronomski fakultet, kao asistent na određeno vrijeme na Zavodu za opću proizvodnju bilja. 2017. godine zapošljava se na Sveučilištu u Zagrebu Agronomski fakultet na Pokušalištu Šašinovec u svojstvu stručnog suradnika u sustavu znanosti i visokog obrazovanja. Iste godine upisuje poslijediplomski doktorski studij „Poljoprivredne znanosti“. Godine 2022. prijavljuje i brani temu doktorskog rada naslova „Utjecaj obrade tla i primjene malča na fizikalna svojstva fluvisola i prinose ratarskih kultura“, pod mentorstvo izv. prof. dr. sc. Igora Bogunovića. Od 2022. radi kao voditelj pokušališta Šašinovec na Sveučilištu u Zagrebu Agronomskom fakultetu.

Znanstveno i stručno se usavršavao na: Mendel University, Brno (2015.); Czech University of Life Science, Prag (2020.); University of Natural Resources and Life Science, Beč (2021./2023.); Univerzitet Sv. Ćirila i Metoda, Skopje (2022.) i Universdad de la Laguna, Santa Cruz (2024.) u sklopu ERASMUS i CEEPUS mobilnosti. Dobitnik je Rektorove nagrade za rad "Održivost agroekosustava Vranski bazen: izvori onečišćenja iz poljoprivrede i pritisci na vodne resurse" (2015). Objavio je kao autor ili koautor 12 znanstvenih radova, 3 stručna rada i 1 poglavlje u knjizi. Od čega 5 radova iz skupine a1, 5 radova iz skupine a2, 2 rada iz skupine a3. Aktivno je sudjelovao na domaćim i međunarodnim znanstvenim i stručnim skupova sa 17 sažetaka. Znanstveni interesi vezani su mu na istraživanja u području konzervacijske obrade tla, ekološke poljoprivrede, sjemenarstva, te posliježetvenih tehnologija. Na Sveučilištu u Zagrebu bio je član Senata Sveučilišta u Zagrebu (2013.-2015.; 2017.-2023.), Vijeća biotehničkog područja (2013.-2015.), te Studentskog zbora Sveučilišta u Zagrebu (2013.-2015; 2017.-2019.). Na Agronomskom fakultetu član je Fakultetskog vijeća (2013.-2015.; 2017.-2024.), te je bio predsjednik Studentskog zbora Agronomskog fakulteta (2013.-2015.). Također, tokom godina bio je član više povremenih povjerenstava na Sveučilištu i sastavnici. Član je Udruge bivših studenata i prijatelja Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Udruge studenata poslijediplomskih studija Agronomskog fakulteta, Hrvatskog tloznanstvenog društva, Hrvatskog društva za proučavanje obrade tla, Hrvatskog društva biljne zaštite i međunarodnih organizacija International Soil Tillage Research Organization i European Geoscience Union.