

REPUBLIKA HRVATSKA
SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Ante Bubalo, univ.mag.ing.agr.

**UTJECAJ KONSOCIJACIJSKIH SUSTAVA DRVENASTIH I
RATARSKIH KULTURA NA SEKVESTRACIJU UGLJIKA U TLU I
SMANJENJE EMISIJE CO₂ IZ POLJOPRIVREDE**

DOKTORSKI RAD

Osijek, 2025.

REPUBLIKA HRVATSKA
SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Ante Bubalo, univ.mag.ing.agr.

**UTJECAJ KONSOCIJACIJSKIH SUSTAVA DRVENASTIH I
RATARSKIH KULTURA NA SEKVESTRACIJU UGLJIKA U TLU I
SMANJENJE EMISIJE CO₂ IZ POLJOPRIVREDE**

- Doktorski rad -

Osijek, 2025.

REPUBLIKA HRVATSKA
SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Ante Bubalo, univ.mag.ing.agr.

**UTJECAJ KONSOCIJACIJSKIH SUSTAVA DRVENASTIH I
RATARSKIH KULTURA NA SEKVESTRACIJU UGLJIKA U TLU I
SMANJENJE EMISIJE CO₂ IZ POLJOPRIVREDE**

- Doktorski rad -

Mentor: prof.dr.sc. Brigita Popović, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Povjerenstvo za ocjenu doktorskog rada:

- 1. izv.prof.dr.sc. Vladimir Ivezić, izvanredni profesor, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, predsjednik**
- 2. prof. dr. sc. Boris Đurđević, redoviti profesor, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, član**
- 3. prof. dr. sc. Irena Ištoka Otković, redoviti profesor, Građevinski i arhitektonski fakultet u Osijeku, članica**

Osijek, 2025.

REPUBLIKA HRVATSKA
SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Ante Bubalo, univ.mag.ing.agr.

**UTJECAJ KONSOCIJACIJSKIH SUSTAVA DRVENASTIH I
RATARSKIH KULTURA NA SEKVESTRACIJU UGLJIKA U TLU I
SMANJENJE EMISIJE CO₂ IZ POLJOPRIVREDE**

- Doktorski rad -

Mentor: prof.dr.sc. Brigita Popović, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Javna obrana doktorskog rada održana je 10.07.2025. pred Povjerenstvom za obranu:

1. **prof. dr. sc. Irena Jug, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, redovita profesorica u trajnom zvanju, predsjednica**
2. **prof. dr. sc. Boris Đurđević, redoviti profesor, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, član**
3. **prof. dr. sc. Irena Ištoka Otković, redovita profesorica, Građevinski i arhitektonski fakultet u Osijeku, članica**

Osijek, 2025.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
Doktorski studij: Poljoprivredne znanosti
Modul: Agrokemija

Doktorski rad

UDK:

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti

Znanstveno polje: Poljoprivreda

Utjecaj konsocijacijskih sustava drvenastih i ratarskih kultura na sekvestraciju ugljika u tlu i smanjenje emisije CO₂ iz poljoprivrede

Ante Bubalo, univ.mag.ing.agr.

Doktorski rad je izrađen na Sveučilištu Josipa Jurja Strossmayera Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek.

Mentor: prof.dr.sc. Brigita Popović, Fakultet agrobiotehničkih znanosti

Klimatske promjene ozbiljno ugrožavaju globalnu sigurnost hrane, a jedan od glavnih uzroka su emisije stakleničkih plinova iz poljoprivrede. Agrošumski sustavi, koji kombiniraju poljoprivredu i šumarstvo, predstavljaju održivo rješenje jer doprinose sekvestraciji ugljika, smanjenju degradacije tla i očuvanju bioraznolikosti. Ovo istraživanje analiziralo je utjecaj konsocijacijskih uzgojnih sustava na sadržaj organske tvari i ugljika u tlu te emisije CO₂. Pokus je proveden na dva lokaliteta u istočnoj Hrvatskoj (Đakovo i Ivankovo), s tri tretmana: kontrola, voćnjak i konsocijacija. Svi tretmani provodili su se prema načelima ekološke poljoprivrede. Utvrđena su fizikalna i kemijska svojstva tla te količina sekvestriranog ugljika. Istraživanje je uključilo i usporedbu dviju metoda za određivanje organske tvari (bikromatna i Tjurin), pri čemu je utvrđena visoka korelacija. Rezultati su pokazali da konsocijacijski sustavi značajno povećavaju sadržaj organske tvari i sekvestraciju ugljika u odnosu na kontrolu. Razvijeni regresijski i modeli neuronskih mreža pokazali su se praktičnima i primjenjivima za predikciju sadržaja organske tvari u tlu.

Broj stranica: 166

Broj slika: 3

Broj tablica: 56

Broj literaturnih navoda: 120

Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: konsocijacijski sustavi, sekvestracija ugljika, klimatske promjene, emisije CO₂.

Datum obrane: 10.07.2025.

Povjerenstvo za obranu :

1. prof. dr. sc. Irena Jug, redovita profesorica u trajnom zvanju Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek-predsjednica
2. prof. dr. sc. Boris Đurđević, redoviti profesor, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek-član
3. prof. dr. sc. Irena Ištoka Otković, redovita profesorica, Građevinski i arhitektonski fakultet u Osijeku- članica

Doktorski rad pohranjen je u:

Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici, Gradskoj i sveučilišnoj knjižnici i na Sveučilištu Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Josip Juraj Strossmayer in Osijek
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek
Doctoral study: Agricultural sciences
Course: Agrochemistry

PhD thesis

UDK:

Scientific Area: Biotechnical Sciences

Scientific Field: Agriculture

The impact of intercropping system of woody and arable crops on soil carbon sequestration and the reduction of CO₂ emissions from agriculture

Ante Bubalo, M.Eng.Sc., Agriculture

Thesis performed at University of Josip Juraj Strossmayer in Osijek Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek.

Supervisor: prof.dr.sc. Brigita Popović, Faculty of agrobiotechnical sciences Osijek

Climate change poses a serious threat to global food security, with greenhouse gas emissions from agriculture being one of the main causes. Agroforestry systems, which combine agriculture and forestry, represent a sustainable solution as they contribute to carbon sequestration, reduce soil degradation, and preserve biodiversity. This study analyzed the impact of consociational cropping systems on soil organic matter and carbon content, as well as CO₂ emissions. The experiment was conducted at two locations in eastern Croatia (Đakovo and Ivankovo), with three treatments: control, orchard, and consociation. All treatments were implemented in accordance with the principles of organic agriculture. Physical and chemical soil properties and the amount of sequestered carbon were determined. The research also included a comparison of two methods for determining humus content (bichromate and Tjurin), which showed a high correlation. The results indicated that consociational systems significantly increase organic matter content and carbon sequestration compared to the control. The developed regression and neural network models proved practical and applicable for predicting humus content in the soil.

Number of pages: 166

Number of figures: 3

Number of tables: 56

Number of references: 120

Original in: Croatian

Key words: intercropping systems, carbon sequestration, climate change, CO₂ emissions.

Date of the thesis defense: 10.07.2025.

Reviewers:

- 1. PhD Irena Jug, Full professor, Faculty of agrobiotechnical sciences Osijek – president**
- 2. PhD Boris Đurđević, Full professor, Faculty of agrobiotechnical sciences Osijek – member**
- 3. PhD Irena Ištoka Otković, Full professor, Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek – member**

Thesis is deposited in:

The National and University Library, the City and University Library, and the Josip Juraj Strossmayer University in Osijek.

KAZALO

1. UVOD	1
1.1. Pregled literature	5
1.2. Utjecaj konsocijacijskih uzgojnih sustava na biomasu uzgajanih kultura	6
1.3. Utjecaj konsocijacijskih uzgojnih sustava na svojstva tla	6
1.4. Utjecaj konsocijacijskih uzgojnih sustava na mikroorganizme i bioraznolikost	6
1.5. Utjecaj konsocijacijskih uzgojnih sustava na organsku tvar tla	8
1.6. Utjecaj konsocijacijskih uzgojnih sustava na vodu i mikroklimu	9
1.7. Utjecaj konsocijacijskih uzgojnih sustava na sadržaj, sekvestraciju i frakcije ugljika u tlu	10
1.8. Utjecaj konsocijacijskih uzgojnih sustava na klimatske promjene i smanjenje emisije CO ₂ iz poljoprivredne proizvodnje.....	13
1.9. Cilj istraživanja	15
2. MATERIJAL I METODE RADA	16
2.1. Lokalitet Đakovo.....	16
2.2. Lokalitet Ivankovo	17
2.3. Uzorkovanje tla i analize	17
2.4. Izračun zaliha ugljika u tlu.....	21
2.5. Dodatne analize organske tvari u tlu	21
2.6. Usporedba dvaju analiza određivanja sadržaja organske tvari u tlu	22
2.7. Fizikalna svojstva tla	23
2.8. Statistička obrada podataka.....	24
3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA	26
3.1. Osnovna kemijska svojstva tla na lokalitetu Đakovo i Ivankovo.....	26
3.1.1. <i>Agrokemijska svojstva tla na lokalitetu Đakovo</i>	28
3.1.1.1. pH vrijednost na lokalitetu Đakovo	28
3.1.1.2. Sadržaj organske tvari u tlu organske tvarina lokalitetu Đakovo	29
3.1.1.3. Sadržaj fosfora u tlu na lokalitetu Đakovo	30
3.1.1.4. Sadržaj kalija u tlu na lokalitetu Đakovo	31
3.1.2. <i>Prikaz agrokemijskih svojstava tla na lokalitetu Ivankovo</i>	32
3.1.2.1. pH reakcija tla na lokalitetu Ivankovo	32
3.1.2.2. Sadržaj organske tvari u tlu na lokalitetu Ivankovo	33
3.1.2.3. Sadržaj fosfora u tlu na lokalitetu Ivankovo.....	34
3.1.2.4. Sadržaj kalija u tlu na lokalitetu Ivankovo	35

3.2. Prikaz fizikalnih svojstava tla na lokalitetu Đakovo i Ivankovo	36
3.2.1. Prikaz fizikalnih svojstava tla na lokalitetu Đakovo.....	36
3.2.2. Prikaz fizikalnih svojstava tla na lokalitetu Ivankovo.....	37
3.3. Komparativne metode određivanja organske tvari u tlu	38
3.3.1. Lokalitet Đakovo.....	38
3.3.2. Lokalitet Ivankovo	39
3.4. Modeli usporedbe metoda za određivanje organske tvari u tlu.....	40
3.4.1. Regresijski modeli.....	41
3.4.1.1. Regresijski model usporedbe bikromatne i metode po Tjurinu na lokalitetu Đakovo .43	
3.4.1.2. Regresijski model usporedbe bikromatne i metode po Tjurinu na lokalitetu Ivankovo	44
3.5. Neuronske mreže.....	45
3.5.1. Neuronske mreže na lokalitetu Đakovo.....	46
3.5.2. Neuronske mreže na lokalitetu Ivankovo	47
3.6. Izračun sekvestracije ugljika i emisija CO ₂ na lokalitetima Đakovo i Ivankovo.....	48
3.6.1. Početne vrijednosti sadržaja organske tvari i organskog ugljika na lokalitetima Đakovo i Ivankovo	48
3.6.2. Pregled sekvestracije ugljika te emisija CO ₂ na lokalitetu Đakovo	50
3.6.2.1. Uzorkovanje tla u 2018. godini.....	50
3.6.2.2. Uzorkovanje tla u 2019. godini.....	53
3.6.2.3. Uzorkovanje tla u 2020. godini.....	57
3.6.2.4. Uzorkovanja tla u 2021. godini.....	59
3.6.2.5. Uzorkovanja u 2022. godini	74
3.6.2.6. Đakovo – usporedba rezultata od 2018.-2022.	83
3.6.2.7. Sekvestracija ugljika na lokalitetu Đakovo	85
3.6.2.8. Zalihe i sekvestracija ugljika u tlu na lokalitetu Đakovo	86
3.6.2.9. Emisije CO ₂ na lokalitetu Đakovo	89
3.6.3. Pregled sekvestracije ugljika te emisija CO ₂ na lokalitetu Ivankovo	90
3.6.3.1. Uzorkovanje tla u 2018. godini.....	91
3.6.3.2. Uzorkovanja tla u 2019. godini.....	93
3.6.3.3. Uzorkovanje tla u 2020. godini.....	98
3.6.3.4. Uzorkovanja tla u 2021. godini.....	101
3.6.3.5. Uzorkovanja tla u 2022. godini.....	110
3.6.3.7. Emisije CO ₂ na lokalitetu Ivankovo	120
4. RASPRAVA.....	123

4.1. Osnovna agrokemijska svojstva tla na lokalitetu Đakovo i Ivankovo	123
4.2. Osnovna fizikalna svojstva tla na lokalitetu Đakovo i Ivankovo	124
4.3. Komparativne metode određivanja organske tvari u tlu	125
4.4. Modeli usporedbe metoda za određivanje organske tvari u tlu	127
4.5. Izračun sekvestracije ugljika i emisija CO ₂ na lokalitetima Đakovo i Ivankovo.....	130
5. ZAKLJUČCI.....	134
6. LITERATURA	136
7. SAŽETAK	148
8. SUMMARY.....	149
9. PRILOG.....	150

1. UVOD

Klimatske promjene predstavljaju ozbiljnu prijetnju globalnoj sigurnosti hrane, čineći ih jednim od najvećih izazova današnjice (Tirado i sur., 2010.). Ove promjene, koje uključuju promjene u temperaturi i padalinama tijekom duljih razdoblja, uglavnom su rezultat ljudskih aktivnosti koje su uzrokovale značajne promjene u sastavu Zemljine atmosfere (Malhi i sur., 2021.). Povijest pokazuje dubok utjecaj ljudskog djelovanja na klimu, s dramatičnim porastom koncentracija CO₂ od 1750. godine, koji se dodatno ubrzao od 1950-ih. Očekuje se da će do kraja 21. stoljeća ove koncentracije udvostručiti, što će uzrokovati porast temperature od 1,5-4,5 °C, čime se ozbiljno ugrožava poljoprivreda i ljudska populacija (Peichl i sur., 2006.). Klimatske promjene uzrokovane su različitim faktorima, uključujući neodrživu potrošnju energije, promjene u korištenju zemljišta i nesrazmjernu proizvodnju i potrošnju (IPCC, 2023.). Poljoprivreda i klimatske promjene usko su povezani jer moderna poljoprivreda značajno doprinosi globalnom zagrijavanju emisijama stakleničkih plinova, dok istovremeno pati od tih promjena. Agrošumski sustavi nude rješenje integrirajući poljoprivredu i šumarstvo, čime se zadovoljavaju zahtjevi za pošumljavanjem, biomasom i proizvodnjom hrane (Frank i sur., 2017.; Lynch i sur., 2021.). Krčenje šuma i spaljivanje fosilnih goriva glavni su izvori emisija CO₂, pa je nužno uvesti sustave koji povećavaju sadržaj organske tvari u tlu (Oelbermann i sur., 2004.). Klimatska prilagodba prepoznaje nužnost transformacijskih promjena, koje uključuju dublje promjene u društvenim i ekološkim sustavima, kako bi se odgovorilo na učinke klimatskih promjena (Waldron i sur., 2017.; Rickards i Howden 2012.). Agrošumarstvo, koje uključuje integraciju drveća i grmova u poljoprivredne sustave, nudi dugoročna rješenja za sigurnost hrane i smanjenje ekološke degradacije, a od 1970-ih je postalo prepoznato kao ključni alat za rješavanje globalnih izazova (Kuyah i sur., 2021.; Goparaju i sur., 2020.).

Poljoprivredna proizvodnja jedna je od ključnih ljudskih djelatnosti s važnim utjecajem na opskrbu hranom, socioekonomski razvoj i smanjenje siromaštva. Međutim, intenzivna proizvodnja dovela je do smanjenja organske tvari u tlu, što ugrožava njegovu plodnost kao i održivost proizvodnje (de Moura, 2021.; Meena, 2020.). Poljoprivreda zauzima 35 % kopnenih površina, što naglašava potrebu za održivim sustavima. Organska tvar tla nije samo pokazatelj razine ugljika već i ključno skladište sekvstriranog ugljika. Neodržive prakse ubrzano iscrpljuju te zalihe, negativno utječući na kvalitetu tla i produktivnost (Meena, 2020.). Kopneni ekosustavi i dalje imaju potencijal za dugoročno skladištenje atmosferskog

ugljika, pri čemu i manje promjene u zalihama tla mogu utjecati na razinu CO₂ u atmosferi. Očekuje se da će klimatske promjene donijeti globalni porast oborina, osim u regijama poput Mediterana, gdje bi zimske oborine mogle pasti i za do 40 %, što bi negativno utjecalo na samu poljoprivredu (de Moura i sur., 2021.; Meena i sur., 2020.; Tuel i Eltahir, 2020.). Ugljik je ključna komponenta organske tvari tla i pouzdan indikator njegovog zdravlja. Procjenjuje se da je u posljednjih 150–300 godina, uslijed ljudskih aktivnosti, iz tla izgubljeno 100–200 bilijuna tona ugljika, dok svjetska tla sadrže oko $1,5 \times 10^{12}$ metričkih tona organskog ugljika (Meena i sur., 2020.). Ugljik u tlu većinom potječe iz organskih izvora, poput biljnih i životinjskih ostataka, dok manji dio ima mineralno podrijetlo. Tijekom rasta i razgradnje biljke ostavljaju organske spojeve koje mikroorganizmi metaboliziraju, ugrađujući ih u biomasu, vraćajući ih u atmosferu ili izlučujući u tlo. Ugljik u tlu se klasificira prema trajanju zadržavanja:

1. Brza (labilna) zaliha – vraća se u atmosferu unutar nekoliko dana do godina. Sastoji se od svježih biljnih ostataka i jednostavnih spojeva, koje mikroorganizmi brzo razgrađuju, oslobađajući CO₂.
2. Spora (polustabilna) zaliha – traje od nekoliko godina do desetljeća, ovisno o tlu, upravljanju i klimi. Sadrži prerađene biljne ostatke i spojeve zaštićene od mikroorganizama.
3. Stabilna zaliha – otporna na razgradnju, može se zadržati stoljećima ili tisućama godina. Sastoji se od organske tvari i ugljika zaštićenog od mikrobne razgradnje (Kane, 2015.).

Ugljik čini oko 50 % suhe mase živih organizama i ključan je za njihov sastav. Njegov ciklus obuhvaća neprekidnu razmjenu između atmosfere, biosfere, hidrosfere, geosfere i pedosfere putem fotosinteze, respiracije i razgradnje organske tvari. Globalni ciklus ugljika povezuje rezervoare poput atmosfere, kopnene biosfere, oceana i Zemljine unutrašnjosti, a ugljik neprestano kruži kroz fizikalne, kemijske i biološke procese. Proces započinje fiksacijom atmosferskog CO₂ fotosintezom, kojom se godišnje zadrži 120 Pg C, dok se unutar biljaka može akumulirati do 610 Pg C (Meena i sur., 2020.). Organska tvar tla dijeli se na nekoliko frakcija prema gustoći i brzini obnove. Veći dio čini stabilna, sporoobnavljajuća zaliha otporna na promjene, dok manje zalihe prolaze brže procese razgradnje. Neke od glavnih frakcija organskog ugljika uključuju POC (čestice organskog ugljika), EOC (lako oksidirajući ugljik), LOC (labilni organski ugljik), ROC (otporan organski ugljik), TOC (ukupan organski

ugljik) te MBC (ugljik iz mikrobne biomase). Među njima, labilni ugljik (LC) je posebno značajan zbog osjetljivosti na sustav uzgoja i eroziju te visoke stope konverzije.

Može se opisati kroz različite podfrakcije, uključujući POC (53–2.000 μm), LFOC (gustoće $<2,0 \text{ g cm}^{-3}$), ROC i DOC (Culman i sur., 2012.; Sainepo i sur., 2018.; Pandher i sur., 2019., Pandher i sur., 2020.; Han i sur., 2022.).

Kane (2015.) navodi četiri načina zaštite ugljika u tlu:

1. Agregacija (fizička zaštita) – Ugljik se sekvstrira unutar agregata tla, koji nastaju povezivanjem manjih čestica uz pomoć gline i ljepila koje luče mikroorganizmi. Time postaje fizički zaštićen od mikrobne razgradnje.
2. Organo-mineralni kompleks (kemijska zaštita) – Negativno nabijene čestice gline vežu pozitivno nabijene mikrobne nusproizvode, stvarajući stabilne veze koje štite ugljik od razgradnje.
3. Povećanje inputa ugljika – Veća količina i raznolikost unosa ugljika (živ malč, raznolike kulture, leguminoze) poboljšava bilancu organske tvari i stabilnost ugljika u tlu.
4. Biološka zaštita – Mikroorganizmi tla sekvstriraju ugljik razgradnjom biljnih ostataka u stabilnije molekule. Insekti, gljive i nematode razgrađuju veće materijale, dok bakterije i gljive dovršavaju proces, poboljšavajući skladištenje ugljika i stabilnost agregata.

Budući da su stabilne zalihe ugljika uglavnom statične, povećanje organskog ugljika u tlu ovisi o većem unosu u odnosu na gubitke. Na ovaj proces utječu:

- Smanjenje obrade tla radi bolje zaštite ugljika u agregatima
- Veći i kvalitetniji unos organske tvari
- Povećanje bioraznolikosti mikroorganizama
- Kontinuirana pokrivenost tla živim malčem (Kane, 2015.).

Labilna frakcija ugljika u tlu je ključna za kruženje hraniva i biološka svojstva tla, te se naziva aktivnom zalihom, dok je pasivni ugljik sporo promjenjiva, visokootporna zaliha. Promjene u labilnim frakcijama mogu ukazivati na degradaciju tla ili poboljšanja uslijed boljih upravljačkih praksi (Weil i sur., 2003.). Frakcije poput labilnog i mineralizirajućeg ugljika osjetljiviji su indikatori promjena od ukupnog organskog ugljika (SOC), s obzirom na

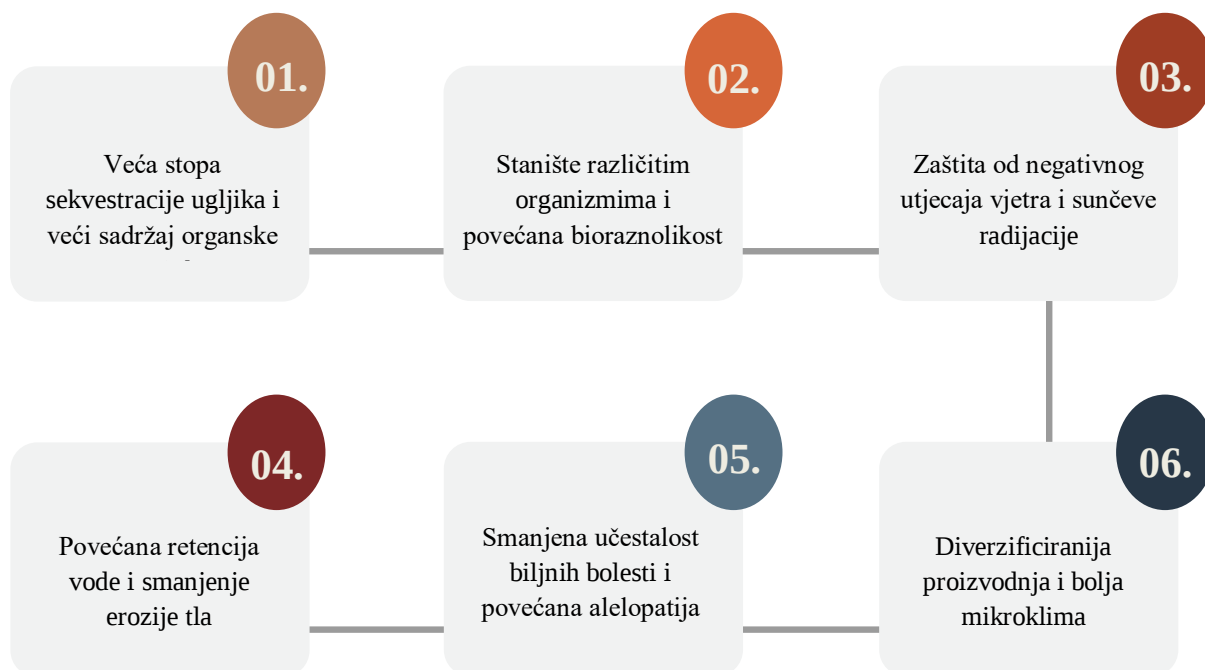
njihovu ulogu u akumulaciji hraniva. Razlike u frakcijama organskog ugljika pod različitim uvjetima mogu otkriti mehanizme sekvestracije ugljika (Pandher i sur., 2020.). Pravilno upravljanje ovim procesima može brzo povećati razinu ugljika u tlu, čime se smanjuje CO₂ u atmosferi (Kane, 2015.).

1.1. Pregled literature

Agrošumarski uzgojni sustavi imaju ključnu ulogu u unapređenju poljoprivrednih ekosustava, pružajući višestruke koristi koje doprinose održivosti i otpornosti proizvodnih sustava. Brojna istraživanja potvrđuju da integracija drvenaste vegetacije s poljoprivrednim kulturama povećava proizvodnju biomase, obogaćuje tlo organskom tvari te poboljšava kvalitetu organske tvari, što rezultira većom plodnošću tla i dugoročnom stabilnošću proizvodnje. Osim toga, ovi sustavi omogućuju učinkovitiju sekvestraciju ugljika, doprinoseći smanjenju emisija stakleničkih plinova i borbi protiv klimatskih promjena. Dodatne prednosti agrošumarstva uključuju poboljšanje mikroklimatskih uvjeta, regulaciju temperature i vlage, kao i smanjenje erozije tla. Također, povećana vegetacijska pokrovnost doprinosi boljem zadržavanju vode u tlu, smanjuje isparavanje i poboljšava otpornost na sušu, čime se osigurava stabilniji prinos u promjenjivim klimatskim uvjetima. Nadalje, agrošumarski sustavi smanjuju rizik od požara stvaranjem prirodnih barijera i reguliranjem vegetacije, dok istovremeno potiču bioraznolikost, pružajući staništa korisnim organizmima i poboljšavajući ekološku ravnotežu.

(Murthy i sur., 2016., García de Jalón i sur., 2017., Nair, 2011., Mutuo i sur., 2005., Schwendenmann i sur., 2010.).

Agrošumarski uzgojni sustavi pružaju agroekosustavima različite povoljne učinke, a samo neki su navedeni na Shemi 1.



Schema 1. Povoljni učinci agrošumarskih proizvodnih sustava na poljoprivrednu proizvodnju

Kombinacija ovih faktora čini agrošumarstvo iznimno vrijednim pristupom u modernoj poljoprivredi, omogućujući povećanje produktivnosti uz istovremenu zaštitu okoliša i jačanje otpornosti ekosustava na klimatske i ekološke izazove.

1.2. Utjecaj konsocijacijskih uzgojnih sustava na biomasu uzgajanih kultura

Konsocijacija može imati značajan utjecaj na biomasu uzgajanih drvenastih vrsta. Wang i sur. (2005.) ističu da je biomasa kineske jele (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) bila 12,3–15 % veća u sustavima konsocijacije u usporedbi s monokulturnim uzgojem, pri čemu je povećanje ovisilo o vrstama koje su se uzgajale zajedno s kineskom jelom. Slične rezultate donosi i istraživanje Tadesse i sur. (2021.), u kojem autori navode da je agrošumarski sustav, u kojem se drvenaste vrste uzgajaju zajedno s različitim poljoprivrednim kulturama, rezultirao značajno većom biomasom u usporedbi s monokulturnim uzgojem drvenastih vrsta ili poljoprivrednih kultura. Agrošumarski sustav uzgoja jabuka u kombinaciji s različitim poljoprivrednim kulturama (grah, zlatni grah, zob) pokazao je veću biomasu drveća, ukupnu biomasu te više maksimalne vrijednosti organskog ugljika u tlu u usporedbi s monokulturnim uzgojem (Zahoor i sur., 2021.). Pristupi integriranog upravljanja zemljištem, poput agrošumarstva, općenito pokazuju 3-4 puta veću biomasu u usporedbi s tradicionalnim sustavima uzgoja (Mbow i sur., 2014.).

1.3. Utjecaj konsocijacijskih uzgojnih sustava na svojstva tla

Chauhan i sur. (2011.) ističu kako je konsocijacijski uzgoj topole i pšenice povoljnija opcija, ne samo zbog smanjenja ugljičnog otiska, već i zbog održivije proizvodnje i veće profitabilnosti. Važno je konsocijaciju promatrati holistički, uzimajući u obzir njezine sveukupne prednosti i učinke na poljoprivrednu proizvodnju, a ne samo kroz jednu dimenziju. Osim toga, konsocijacija može imati značajan pozitivan utjecaj na svojstva tla, pri čemu složene interakcije među komponentama sustava dovode do lančanih uzročno-posljedičnih veza, gdje poboljšanje jedne komponente utječe na promjene drugih (Yannick i sur., 2023., Pinho i sur., 2012.).

1.4. Utjecaj konsocijacijskih uzgojnih sustava na mikroorganizme i bioraznolikost

Prirodne katastrofe uzrokovane globalnim zagrijavanjem i intenzivnim modernim poljoprivrednim praksama dovele su do značajnog gubitka biološke raznolikosti (Raven i

Wagner, 2021.). Povećana intenzivnost korištenja zemljišta izdvaja se kao glavni faktor smanjenja biološke raznolikosti u agroekosustavima (Abdi i sur., 2021.). Neadekvatno upravljanje tlom, prekomjerna mineralna gnojidba, te upotreba herbicida i pesticida među ključnim su čimbenicima koji doprinose ovom smanjenju biološke raznolikosti (Barros-Rodríguez i sur., 2021.).

Smanjenje biološke raznolikosti ima ozbiljne posljedice za sigurnost hrane, održivost poljoprivrede i kvalitetu okoliša. Agrošumarski sustavi (AFS) prepoznaju se kao potencijalno rješenje za očuvanje i poboljšanje biološke raznolikosti, te igraju ključnu ulogu u očuvanju i zaštiti prirodnih staništa za brojne vrste koje žive u tlu. Na taj način, ovi sustavi izravno utječu na zdravlje tla (Udawatta i sur., 2019.).

Pojedini agrošumarski sustavi nude priliku za diverzifikaciju i intenzifikaciju poljoprivrednih sustava uključivanjem autohtonih drvenastih vrsta koja pridonose tržištu drvne proizvodnje. Zreli agrošumarski sustavi su biološki raznoliki i visoko produktivni, spajajući biološku raznolikost i ekonomske aspekte proizvodnje (Leakey, 1998.).

Ovi sustavi mogu učinkovito ublažiti pojavu šumskih požara stvaranjem prirodnih vatrogasnih pojaseva, čime smanjuju rizik od katastrofalnih požara i negativnih učinaka prirodnih katastrofa na biološku raznolikost (Damianidis i sur., 2021.). Rezultati istraživanja pokazali su da su agrošumarska područja imala manji broj požara u usporedbi sa šumama, grmljem ili travnjacima, što pokazuje potencijal agrošumarstva u smanjenju rizika od požara i zaštiti ekosustava u zemljama kao što su Cipar, Francuska, Grčka, Italija, Portugal i Španjolska (Damianidis i sur., 2021.).

Koegzistencija više usjeva i vrsta vegetacije unutar agrošumarskog sustava potiče stvaranje složenog i raznolikog ekosustava, privlačeći i podržavajući širok spektar organizama. Ova povećana raznolikost staništa potiče biološku raznolikost nudeći izvore hrane, mjesta za gniježđenje i skloništa za različite vrste divljih životinja, čime se povećava otpornost ekosustava i njegova prilagodljivost na okolišne promjene (Pinho i sur., 2012.). Osim toga, agrošumarske prakse, potiču proliferaciju i raznolikost mikroorganizama u tlu, smanjuju eroziju tla i pozitivno utječu na upravljanje otjecanja vode čime dodatno obogaćuju zdravlje i funkcionalnost ekosustava (Zhu i sur., 2020.; Beule i sur., 2022.; Ocampo-Ariza i sur., 2023.; Santos i sur., 2022.). Potonje obuhvaća sve organizme, kako iznad tako i ispod tla, koji su uspostavili svoja staništa unutar zasađenih drveća i usjeva (Leakey, 1998.).

Organska tvar u tlu služi kao glavni izvor energije za organizme u tlu i značajno utječe na biološku raznolikost tla i povezane biološke funkcije tla, pa agrošumarski sustavi mogu

podržati veću biološku raznolikost od monokultura (Dollinger i Jose, 2018.). Još jedan pozitivan aspekt agrošumarskih sustava je bolja sposobnost oprašivanja, jer ovi sustavi pružaju stanište za oprašivače, kao i korisne organizme koji imaju pozitivan učinak na kontrolu biljnih bolesti (Pumariño i sur., 2015., Yang i sur., 2019.; Guenati sur., 2019.).

Beuele i sur. (2019.) u svom istraživanju ističu da drvenaste vrste unutar agrošumarskog sustava doprinose povećanju relativne brojnosti gljiva. Ovo povećanje se vjerojatno može pripisati povećanoj akumulaciji grančica i lišća drvenastih biljaka, dugotrajnom izostanku gnojidebe te promjenama u mikroklimatskim uvjetima. Autori također naglašavaju da agrošumarski sustavi mogu značajno utjecati na dinamiku brojnosti bakterija i gljiva.

Istraživanje Ortiz i sur. (2023.) je pokazalo kako agrošumarski sustavi koji u uzgojni proces uključuju autohtone vrste drveća, pored Yerba mate (*Ilex paraguariensis*) koji raste u zemljama Južne Amerike, ima pozitivan utjecaj na broj taksonomskih grupa zemljišnih vrsta (makrofaune i mikrofaune), već nakon šest godina, sa vidljivim efektima već u prvoj godini. Ovakvi sustavi povećavaju broj korisnih vrsta, poput mrava, gujavica i nematoda, u svim agroekološkim sistemima. Također, značajno utiču na smanjenje populacija vrsta mrava rezbara *A. sexden* i *Acromyrmex spp.*, što olakšava uzgoj osjetljivijih drvenastih vrsta u Južnoj Americi (Ortiz i sur., 2023.). Očuvanje bioraznolikosti kroz agrošumarske sustave također se očituje kroz funkciju korijenskog sustava drvenastih vrsta, koji djeluje kao prirodni filter, upijajući višak štetnih tvari štiteći tako od potencijalnog zagađenja podzemnih voda. Uključivanje arbuskularnih mikoriznih gljiva u mnoge agrošumske sustave postaje ključna strategija za smanjenje upotrebe mineralnih gnojiva, čime se promovira održiviji i biološki raznovrsniji pristup poljoprivrednoj proizvodnji (Pavlidis i sur., 2020.; Awazi i Tchamba, 2019.).

1.5. Utjecaj konsocijacijskih uzgojnih sustava na organsku tvar tla

Konsocijacija može imati značajan pozitivan učinak na kvalitetu organske tvari, čime doprinosi poboljšanju plodnosti tla i održivosti poljoprivredne proizvodnje (Stöcker i sur., 2020.). Wang i sur. (2005.) ističu da je kvaliteta organske tvari u sustavima konsocijacije poboljšana u usporedbi s monokulturnim uzgojem, što se može pripisati većoj raznolikosti biljne biomase, intenzivnijoj razgradnji organske tvari te boljoj mikrobiološkoj aktivnosti tla. Konsocijacija ima značajan pozitivan utjecaj na različite komponente tla, posebno na sadržaj huminskih tvari. Wang i sur. (2005.) utvrdili su da je uzgoj kineske jele u konsocijaciji s poljoprivrednim kulturama rezultirao značajno većim sadržajem ugljika huminske kiseline (HAC) u tlu u usporedbi s monokulturnim uzgojem. Budući da su omjer HAC/TOC i razina humifikacije

ključni pokazatelji kvalitete organske tvari, ovi rezultati potvrđuju pozitivan učinak konsocijacije na poboljšanje tla.

Dodatno, Yang i sur. (2018.) ističu kako nedavno otpalo lišće sadrži značajne količine humusnog ugljika (HC), ugljika fulvo kiselina (FAC) i ugljika huminskih kiselina (HAC), pri čemu zaliha HC ovisi o količini otpalog lišća. Ovi nalazi pružaju potencijalno objašnjenje za povećane razine pojedinih frakcija ugljika u tlu te ukazuju na važnost organske tvari u agrošumarskim sustavima za poboljšanje kvalitete tla i organske tvari.

1.6. Utjecaj konsocijacijskih uzgojnih sustava na vodu i mikroklimu

Agrošumarski sustavi doprinose očuvanju kvalitete vode smanjenjem erozije tla i otjecanja hranjivih tvari putem mehanizama kao što su međusobno povezani korijenski sustavi i povećana pokrivenosti tla vegetacijom, koji stabiliziraju tlo i ublažavaju eroziju uzrokovanu vjetrom i vodom, čime se očuva integritet krajolika (Delgado-Lemus i Moreno-Calles, 2022.; Mukhlis i sur., 2022.; Bentrup i sur., 2019.; Kronenberg i sur., 2023.). Dodatno, prisutnost drveća poboljšava zadržavanje vode i smanjuje gubitak vode kroz isparavanje, čime se postiže učinkovitija upotreba iste (Haughey i sur., 2023.; Xu i sur., 2020.; Andrews i sur., 2020.). Agrošumarski sustavi značajno poboljšavaju fizičke uvjete tla povećanjem propusnosti, kapaciteta zadržavanja vode i drenaže. To se postiže njihovom sposobnošću za poboljšanje kapaciteta zadržavanja vlage u tlu i hidrauličke vodljivosti, što rezultira većim skladištenjem vlage tijekom sušnih i kišnih razdoblja u usporedbi s kontrolnim uvjetima (Kumar i sur., 2020.). Štoviše, agrošumarski sustavi, kao što pokazuje kombinirani sustav uzgoja kultura za ishranu i kultura za dobivanje energije, imaju izuzetnu sposobnost zadržavanja vode od 411 mm ha^{-1} , u usporedbi s kapacitetom od 283 mm ha^{-1} u konvencionalnim sustavima proizvodnje pšenice, što naglašava pozitivan utjecaj agrošumarstva na zadržavanje vode (Sollen-Norrlin i sur., 2020.). Dodatno, povećana pokrivenost tla koju omogućuju opalo lišće i "drveni malč" pomaže usporiti vodu koja otječe, smanjuje evapotranspiraciju i sprječava stvaranje pokorice na tlu. Nadalje, veći sadržaj organske tvari (OT) u agrošumarskim sustavima poboljšava sposobnost tla za zadržavanje vode i doprinosi stabilnosti tla kroz poboljšanje agregacije i strukture (Sollen-Norrlin i sur., 2020.). Agrošumarski sustavi mogu odigrati ključnu ulogu u ublažavanju onečišćenja vode i poboljšanju kvalitete podzemnih voda promicanjem infiltracije vode u tlu, čime se omogućava punjenje vodonosnika (Sollen-Norrlin i sur., 2020.). Ovi sustavi pokazuju veću stopu infiltracije tla u usporedbi s monokulturnim sustavima, pri čemu ta razlika postaje

osobito značajna nakon duljeg razdoblja proizvodnje, osobito u sloju tla od 0 do 40 cm (Wang i sur., 2015.). Štoviše, međusobni uzgoj čajevca s kaučukovcem pozitivno utječe na hidraulička svojstva tla, što dovodi do povećane infiltracije i preferencijalnog protoka, osobito u tlu ispod samog drveća. Tijekom 22 godine rasta, zabilježena su značajna poboljšanja fizikalno-kemijskih svojstava tla, poput niže gustoće tla, veće poroznosti, povećane kapaciteta za zadržavanje vode, indeksa ukupnog prostora poroznosti (TPSI) i sadržaja organske tvari (Zhu i sur., 2019.).

Agrošumarski sustavi doprinose očuvanju kvalitete vode, čime promiču učinkovitiju upotrebu iste. Osim toga, oni igraju ulogu u ublažavanju onečišćenja vode, poboljšanju hidrauličkih svojstava tla i unapređenju fizikalno-kemijskih svojstava tla, što na kraju olakšava cikliranje hranjivih tvari i očuvanje vode za održive poljoprivredne prakse. Zasađena drveća i grmlje djeluju kao vjetrobran, smanjujući negativne utjecaje vjetrova na poljoprivrednu proizvodnju (Mume i Workalemahu, 2021.). Nadalje, agrošumarstvo pokazuje svoju sposobnost oblikovanja mikroklima unutar poljoprivrednih sredina, stvarajući optimalne uvjete za uzgoj usjeva. Konkretno, usjevi smješteni u zasjenjenim područjima agrošumarskih sustava imaju koristi od posebnog skupa okolišnih parametara, uključujući smanjenu izloženost suncu i modificirane mikroklimu koje karakteriziraju niže temperature zraka i veća vlažnost (Ong i sur., 2000.; Coble i sur., 2020.).

1.7. Utjecaj konsocijacijskih uzgojnih sustava na sadržaj, sekvestraciju i frakcije ugljika u tlu

Murthy i sur. (2013.) ističu kako agrošumarski sustavi imaju značajan potencijal za poboljšanje plodnosti tla povećanjem sadržaja organske tvari. Također navode da procijenjene prosječne količine sekvestriranog ugljika u takvim sustavima iznose 9, 21, 50 i 63 mg C ha⁻¹, ovisno o klimatskim uvjetima, pri čemu su najniže vrijednosti zabilježene u semiaridnim, a najviše u umjerenim područjima. Pandher i sur. (2020.) ističu da su koncentracije organskog ugljika u tlu, kao i njegove frakcije, bile veće u agrošumarskim sustavima u usporedbi s monokulturnim uzgojem, pri čemu su se te vrijednosti povećavale s godinama starosti drvenastih kultura. Ovi podaci upućuju na veći kapacitet sekvestracije ugljika kod starijih agrošumarskih sustava. Slične zaključke donosi i istraživanje Marone i sur. (2017.), koji navode da je jedan od ključnih faktora povećane akumulacije ugljika u različitim agrošumarskim sustavima upravo starost drvenastih jedinki. Stariji agrošumarski sustavi pokazuju veći potencijal za skladištenje ugljika, što dodatno naglašava njihovu

važnost u strategijama ublažavanja klimatskih promjena i očuvanja plodnosti tla. Starost drvenastih jedinki igra ključnu ulogu ne samo u povećanju kapaciteta sekvestracije ugljika već i u sadržaju organskog ugljika u tlu. Pandher i sur. (2020.) ističu da je sadržaj organskog ugljika bio značajno veći u 6-godišnjem agrošumarskom sustavu ($5,5 \text{ mg g}^{-1}$) u usporedbi s 3-godišnjim sustavom ($4,3 \text{ mg g}^{-1}$) te ostalim uključenim uzgojnim sustavima. Bhattacharyya i sur. (2021.) dodatno naglašavaju da drvenaste kulture pridonose hvatanju ugljika putem svoje nadzemne i podzemne biomase, kao i putem svojih drvenastih dijelova.

Uz to, drvenaste vrste mogu ubrzati akumulaciju ugljika u tlu zahvaljujući povećanoj biološkoj produkciji, uključujući lišće, grane i odumrle biljne dijelove, kao i izlučevinama korijenovog sustava te poboljšanim mehanizmima zaštite organskog ugljika u tlu (Guo i sur., 2020.). Ovo istraživanje provedeno je na sustavima s isključivo drvenastim vrstama, bez prisutnosti poljoprivrednih kultura. Međutim, pravilnim odabirom i integracijom poljoprivrednih kultura u agrošumarske sustave potencijal za povećanje sekvestracije i akumulacije ugljika mogao bi biti još veći.

Istraživanje Ramesha i sur. (2015.) pokazuje da je u 26-godišnjem agrošumarskom sustavu došlo do značajnog povećanja različitih frakcija organskog ugljika u tlu: ukupnog organskog ugljika (TOC) za 26,3 %, čestica organskog ugljika (POC) za 60,1 %, lako oksidirajućeg ugljika (ROC) za 27,1 %, nelabilnog ugljika (CNL) za 46,4 % te ugljika iz mikrobne biomase (MBC) za 34 %, u odnosu na kontrolni sustav.

Pozitivan utjecaj agrošumarskih sustava na različite frakcije organskog ugljika potvrđuju i Pandher i sur. (2020.), koji su utvrdili da su razine agregatno povezanog ugljika (AAC), čestica organskog ugljika (POC) te mineraliziranog ugljika (MC) bile značajno veće u agrošumarskim sustavima nego u drugim uzgojnim sustavima.

Dodatno, Ramesh i sur. (2015.) navode da su razine organskog ugljika u sloju tla od 0-15 cm bile 35,3 % veće nego u sloju od 15-75 cm, dok su razine različitih frakcija organskog ugljika bile veće za 70 %. Slične trendove potvrđuju Pandher i sur. (2020.), koji ističu da se s povećanjem dubine tla (do 120 cm) smanjuje razina organskog ugljika. Najmanji pad zabilježen je u 6-godišnjem agrošumarskom sustavu (78 %), zatim u agro-hortikulturnom sustavu i 3-godišnjem agrošumarskom sustavu, dok je najveći pad organskog ugljika u tlu (89,7 %) utvrđen u monokulturnom sustavu kukuruz-pšenica. Ovi rezultati jasno ukazuju na važnost agrošumarskih sustava u očuvanju i povećanju sadržaja organskog ugljika u tlu, čime se doprinosi poboljšanju kvalitete tla i dugoročnoj održivosti poljoprivredne proizvodnje. Pandher i sur. (2020.) ističu kako je sadržaj labilnog ugljika na dubini 0-15 cm bio značajno

veći u 6-godišnjem agrošumarskom sustavu u usporedbi s monokulturnim uzgojem. Autori naglašavaju da labilni ugljik brzo reagira na promjene u inputima organske tvari, što sugerira da povećane razine ove frakcije u agrošumarskim sustavima mogu imati ključnu ulogu u dinamici ukupnog organskog ugljika u tlu. Uzročno-posljedična veza između zaliha labilnog ugljika i promjena u ukupnom organskom ugljiku (TOC) dodatno je potvrđena u istraživanju Ramesh i sur. (2015.), koji su prikazali kako promjene u frakcijama labilnog ugljika mogu utjecati na ukupne rezerve organske tvari u tlu.

Ovi rezultati naglašavaju važnost agrošumarskih sustava u održavanju i poboljšanju kvalitete tla kroz povećanu akumulaciju organskog ugljika.

Agrošumarski sustavi značajno doprinose sekvestraciji ugljika u tlu i smanjenju emisija stakleničkih plinova, čime djeluju kao „skladišta“ ugljika. Valenzuela-Balcázar i sur. (2022.) utvrdili su da je agrošumarski sustav native šume i kakaovca imao znatno veću razinu organskog ugljika u tlu u usporedbi s parcelama pod uzgojem riže. Osim toga, agrošumarski sustav generirao je niže emisije CO₂ i CH₄, što je rezultiralo pozitivnom bilancom usvojenog i emitiranog ugljika.

Slično tome, Makumba i sur. (2007.) utvrdili su da je tijekom konsocijacijskog uzgoja glicinije i kukuruza u tlo sekvestrirano 123–149 mg C ha⁻¹ na dubini od 0–200 cm, uz dodatnih 17 mg C ha⁻¹ privremeno uskladištenih u panju i strukturalnom korijenju (>5 mm). Ovi rezultati potvrđuju istraživanje Shi i sur. (2018.), koji su istaknuli da agrošumarski sustavi povećavaju sekvestraciju ugljika putem povećanog inputa biljne biomase, poboljšanih mikroklimatskih uvjeta, smanjenja erozije tla te učinkovitijeg kruženja vode i hraniva. Bhattacharyya i sur. (2021.) dodatno su naglasili da agrošumarski sustavi mogu poboljšati sastav organskog ugljika u tlu u usporedbi s monokulturnim sustavima, pri čemu posebno utječu na formaciju makroagregata, koji stabiliziraju i čuvaju organski ugljik unutar tla. Autori ističu da je sadržaj organskog ugljika na ekološkim dubinama značajno veći, što potvrđuje efikasnost korijenovog sustava u fiksaciji ugljika u tlu.

Sedamnaestogodišnje istraživanje Dold i sur. (2019.) provedeno na silvopastoralnom sustavu u SAD-u pokazalo je da godišnja stopa sekvestracije ugljika u nadzemnoj biomasi sjevernog crvenog hrasta iznosi 0,75 mg C ha⁻¹ (750 kg C ha⁻¹), dok je kod pekan oraha ta vrijednost 0,20 mg C ha⁻¹ (200 kg C ha⁻¹). Prosječna stopa sekvestracije ugljika po jedinki drvene vrste iznosila je 5,59 kg godišnje za hrast i 4,20 kg za pekan orah. Autori su koristili linearnu metodu izračuna apsolutne stope rasta (AGR) koristeći formulu:

$$AGR = dX/dt$$

gdje dX predstavlja početne vrijednosti zaliha ugljika (C) i dušika (N), a dt završne vrijednosti. Iako je ova metoda jednostavna, ona ne uzima u obzir nelinearnu prirodu rasta drvenastih jedinki, što postaje važno kako agrošumarski sustav sazrijeva.

Bateni i sur. (2021.) predložili su sljedeću formulu za procjenu zalihe organskog ugljika u tlu:

$$C_{stock} (t \text{ ha}^{-1}) = C (\%) / 100 \times \rho_{soil} (g \text{ cm}^{-3}) \times 3000 (m^3 \text{ ha}^{-1})$$

gdje je:

- C - sadržaj organskog ugljika (%)
- ρ_{soil} - volumna gustoća tla ($g \text{ cm}^{-3}$)
- 3000 - volumen tla u 1 ha (za dubinu od 0-30 cm)

Ove formule omogućuju precizniju procjenu sekvenciranja ugljika u različitim agrošumarskim sustavima te potvrđuju njihovu ključnu ulogu u mitigaciji klimatskih promjena i poboljšanju kvalitete tla.

1.8. Utjecaj konsocijacijskih uzgojnih sustava na klimatske promjene i smanjenje emisije CO₂ iz poljoprivredne proizvodnje

Povećano skladištenje ugljika ističe se kao glavna prednost agrošumskih sustava (AFS) u naporima za ublažavanje klimatskih promjena, jer ovi sustavi služe kao učinkoviti alati za smanjenje emisije CO₂ (Wilson i Lovell, 2016.). Agrošumski sustavi pokazuju veće razine organskog ugljika u tlu (SOC) u usporedbi sa sustavima bez konsocijacije i posjeduju veće ukupne zalihe ugljika od monokulture (raspon od 54 % do 127 %, ovisno o različitim oblicima agrošumarstva) (Yasin i sur. 2023).

Sadržaj organskog ugljika bio je 31 % veći ispod krošnji drveća u odnosu na područja izvan njih (Gebre 2016). Na primjer, uzgoj palme ulja i agarovog drveta doveo je do povećanja skladištenja ugljika za 224 % u agrošumskim parcelama u odnosu na parcele s monoculturom palme ulja. Slično, agrošumarski sustav temeljen na topolama udvostručio je skladištenje ugljika u odnosu na proizvodnju bez drveća (Yasin i sur., 2023.). Otprilike 500.000 hektara agrošumarskih sustava na Filipinima pohranilo je procijenjenih 25 milijuna Mt (megatona) ugljika, dok godišnje sekvencira dodatnih 2,7 Mt ugljika, što jasno pokazuje važnost tih sustava (Lasco i sur., 2014.). Različiti AFS-ovi imaju različite stope smanjenja CO₂ po toni po hektaru godišnje. Na primjer, poljoprivreda s drvećem obično pokazuje stope oko 7,5 t CO₂e ha⁻¹ god⁻¹, dok sustavi međusjetve (uzgoj usjeva u blizini već uspostavljenih drveća) pokazuju stope u rasponu od 4,6 do 6,3 t CO₂e ha⁻¹ god⁻¹ (Gebre 2016). Povećano skladištenje ugljika samo je jedan od mnogih pozitivnih učinaka tih sustava. Ključno je istražiti i druge učinke

kako bi se steklo dublje razumijevanje održivosti i značaja tih sustava. Ovi održivi sustavi široko se koriste za ublažavanje različitih problema, tj. agrošumarski sustavi rješavaju brojne izazove.

1.9. Cilj istraživanja

Ovo istraživanje ima za cilj analizirati utjecaj konsocijacijskih uzgojnih sustava na dinamiku organske tvari i ugljika u tlu te njihovu ulogu u sekvestraciji ugljika. Konkretni ciljevi uključuju:

- Analizu utjecaja konsocijacije na sadržaj organske tvari, kvantitetu i kvalitetu organskog ugljika u tlu.
- Procjenu sekvestracije ugljika u različitim uzgojnim sustavima i njenog utjecaja na emisije CO₂.
- Usporedbu metoda određivanja organskog ugljika kako bi se utvrdila njihova točnost i primjenjivost.

Hipoteze

Polazeći od ciljeva, istraživanje se temelji na sljedećim hipotezama:

- Konsocijacijski sustavi povećavaju sadržaj organske tvari i ugljika u tlu, doprinoseći poboljšanju njegove plodnosti.
- Primjenom uzgojnog sustava konsocijacije poboljšati će se sekvestracija ugljika, smanjujući emisije CO₂ u atmosferu.
- Smanjenje emisije CO₂ kroz veću sekvestraciju ugljika doprinosi se ublažavanju klimatskih promjena i smanjenju efekta staklenika.
- Ovim istraživanjem želi se pridonijeti boljem razumijevanju povezanosti uzgojnih sustava, dinamike organskog ugljika i održivosti poljoprivredne proizvodnje.

2. MATERIJAL I METODE RADA

Poljski pokus postavljen je na dva lokaliteta smještena u istočnim županijama Republike Hrvatske. Prvi lokalitet bio je u Osječko-baranjskoj županiji, na području Đakova (451824.09 N, 182620.5 E). Nadmorska visina lokaliteta iznosi 111 metara. Prosječna temperatura zraka kreće se od -2 do 0 °C tijekom siječnja, dok se u srpnju obično kreće između 18 i 22 °C. Godišnja količina oborina iznosi približno 600 do 1000 milimetara, pri čemu su oborine relativno ravnomjerno raspoređene tijekom cijele godine. Drugi lokalitet nalazio su u Vukovarsko-srijemskoj županiji, na lokalitetu Ivankovo (451853.71 N, 184021.49 E). Prosječne temperature u siječnju iznosile su od $-0,5$ do 1 °C, dok su prosječne temperature u srpnju iznosile 21 °C. Godišnja količina oborina na lokalitetu Ivankovo iznosila je otprilike 700 milimetara, pri čemu su oborine relativno ravnomjerno raspoređene tijekom cijele godine. Na oba lokaliteta provodila se poljoprivredna proizvodnja u skladu s načelima ekološke poljoprivrede, čime se osiguravalo očuvanje tla i održivost uzgoja. Priprema tla prije sjetve bila je ujednačena na oba lokaliteta te je provedena jednako na kontrolnoj i konsocijacijskoj površini - oranje do dubine od približno 30 centimetara, nakon čega je slijedilo ravnanje tla. Svaki od lokaliteta bio je podijeljen na tri eksperimentalne parcele:

1. **Kontrolna parcela** – na kojoj se provodio uzgoj različitih poljoprivrednih kultura kako bi se omogućila usporedba s ostalim sustavima uzgoja.
2. **Voćnjak** – u kojem se uzgajao isključivo orah, čime se omogućilo istraživanje specifičnih uvjeta u trajnim nasadima.
3. **Konsocijacijska parcela** – na kojoj su se zajedno uzgajali orah i poljoprivredne kulture s ciljem istraživanja njihovih međusobnih interakcija i utjecaja na svojstva tla.

2.1. Lokalitet Đakovo

Lokalitet u Đakovu bio je u vlasništvu OPG-a „Jela Paponja“, smještenog na adresi Radnička 46, 31 400 Đakovo. Kontrolna parcela zauzimala je površinu od 1,5 ha i bila je smještena nekoliko stotina metara od preostalih dviju pokusnih parcela, no sve su se nalazile na tlu istog tipa, što je omogućilo bolju usporedivost rezultata. Parcela s trajnim nasadom oraha obuhvaćala je površinu od 2,7 ha te je bila podijeljena na dvije jednake jedinice: voćnjak i konsocijacijsku parcelu. Cjelokupan nasad sastojao se od 10 redova oraha, pri čemu je svaki red bio dug 310 metara. Razmak između redova iznosio je 8 metara, dok je razmak unutar redova bio 7 metara. U okviru konsocijacijske parcele, između četiri reda oraha, bile su zasijane različite

poljoprivredne kulture u redove širine 6 metara, čime se formirala združena proizvodna površina.

2.2. Lokalitet Ivankovo

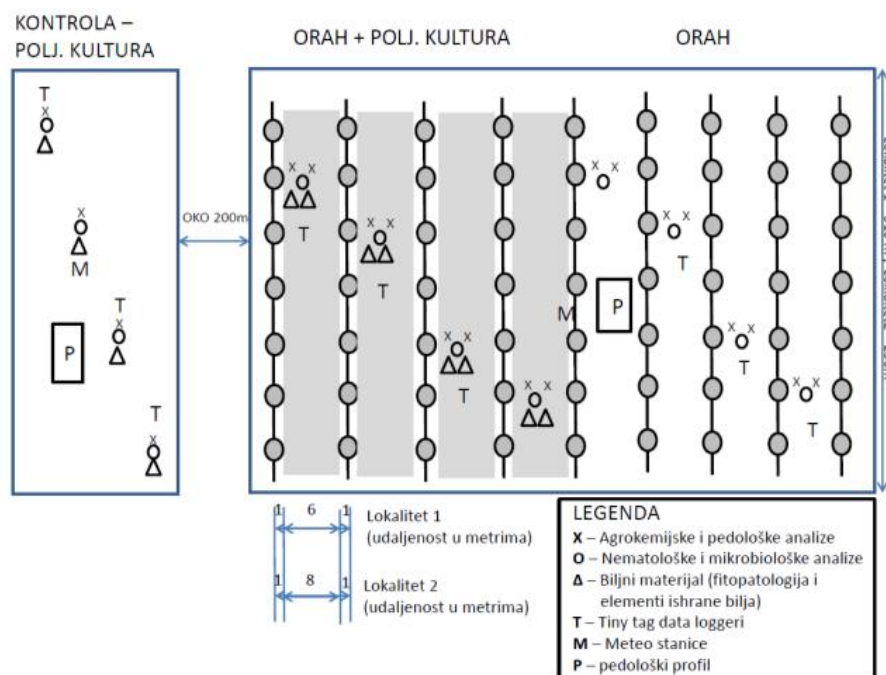
Lokalitet u Ivankovu bio je u vlasništvu OPG-a „Zubo“, smještenog na adresi Gorjanski rit, 32 281 Ivankovo. Površina kontrolne parcele iznosila je 34,26 ha, no radi ujednačenosti podataka uzorkovan je samo njezin reprezentativni dio. Ukupna površina uzgojne parcele oraha iznosila je 4,35 ha i bila je podijeljena na dvije jedinice: konsocijacijsku parcelu, veličine otprilike 1 ha, te voćnjak, koji je zauzimao preostalih 3,35 ha. Kontrolna parcela i voćnjak nalazili su se na tlima istog tipa, što je omogućilo bolju komparativnu analizu podataka. Nasad oraha u Ivankovu sastojao se od 14 redova, pri čemu je svaki red bio dug 250 metara. Razmak između redova iznosio je 10 metara, dok je razmak unutar redova također bio 10 metara.

2.3. Uzorkovanje tla i analize

Tijekom istraživanja, uzorkovanje tla provodilo se periodično, u različitim stadijima rasta i razvoja uzgajanih kultura, kako bi se pratilo stanje tla i njegove promjene kroz vrijeme. Prvo uzorkovanje tla provedeno je 2018. godine s ciljem određivanja početnog stanja agrokemijskih svojstava tla na oba lokaliteta.

Pri svakom uzorkovanju tla uzimana su četiri ponavljanja iz svake eksperimentalne jedinice (Slika 1):

- 4 ponavljanja s kontrolne parcele,
- 4 ponavljanja iz konsocijacijske parcele (bliže orasima),
- 4 ponavljanja iz konsocijacijske parcele (dalje od oraha),
- 4 ponavljanja iz voćnjaka.



Slika 1. Shematski prikaz postavljenog poljskog pokusa

(Izvor: Vladimir Ivezić, HRZZ, UIP-05-2017)

Svi uzorci tla uzimani su s dvije dubine (0-30 cm i 30-60 cm). Tijekom četverogodišnjeg istraživanja prikupljeno je 739 uzoraka tla.

Iz prikupljenih uzoraka provedene su analize sljedećih agrokemijskih svojstava tla prema standardiziranim metodama:

- pH u H₂O i pH u KCl – HRN ISO 10390:2005,

Reakcija tla, izražena pH vrijednošću, predstavlja pokazatelj brojnih agrokemijskih svojstava tla koja su ključna za prehranu biljaka. pH vrijednost definira se kao negativan logaritam koncentracije vodikovih iona (H⁺) i jedno je od osnovnih svojstava tla koje utječe na njegova kemijska, biološka i fizikalna obilježja (Vukadinović i Lončarić, 1998). Mjerenje pH vrijednosti tla provedeno je elektrometrijski pomoću pH-metra, prema metodi opisanoj u normi ISO 10390 (1994). Uzorci tla bili su suspendirani u omjeru 1:10 (masa/volumen) s destiliranom vodom radi određivanja aktualne kiselosti, te u otopini 1 mol dm⁻³ KCl za određivanje supstitucijske kiselosti. Mjerenja su izvršena pomoću pH-metra Iskra MA 5730.

- Sadržaj organske tvari i organskog ugljika – HRN ISO 14235:1998

Organska tvar tla ima ključnu ulogu u određivanju važnih kemijskih i fizikalnih svojstava tla, poput njegove strukture, sposobnosti zadržavanja vode, sorpcije iona te prisutnosti esencijalnih hranjivih elemenata. Količina organske tvari u tlu određena je prema bikromatnoj metodi (ISO

14235, 1998), koja se temelji na mokrom oksidiranju organske tvari pomoću kalijevog bikromata. Koncentracija organskog ugljika u uzorcima analizirana je spektrofotometrijski, koristeći spektrofotometar Varian Cary 50. Dobivene vrijednosti zatim su preračunate u sadržaj organske tvari pomoću konverzijskog koeficijenta 1,724.

- Hidrolitička kiselost – ISO 10693 (1994).

Hidrolitička kiselost određena je u svim analiziranim uzorcima tla kod kojih vrijednosti supstitucijske kiselosti (pH u 1 mol dm⁻³ KCl) nisu prelazile 5,5. Kao pokazatelj ukupne potencijalne kiselosti tla, hidrolitička kiselost određena je ekstrakcijom 20 g tla s 50 ml 1 mol dm⁻³ otopine natrijeva acetata, alkalne hidrolitičke soli, prema metodi opisanoj u normi ISO 10693 (1994). Tijekom ove reakcije dolazi do zamjene kiselih H⁺ i Al³⁺ iona iz adsorpcijskog kompleksa tla s natrijevim ionima (Na⁺) iz acetata, pri čemu se oslobađa octena kiselina. Količina nastale octene kiseline, koja je ekvivalentna količini vodikovih iona u adsorpcijskom kompleksu, određuje se titracijom s 0,1 mol dm⁻³ natrijevim hidroksidom (NaOH). Dobivena vrijednost hidrolitičke kiselosti izražava se u cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹ i predstavlja mjeru nezasićenosti adsorpcijskog kompleksa tla baznim (alkalnim) kationima. Hidrolitička kiselost važna je za procjenu kapaciteta tla za adsorpciju kationa i stupnja zasićenosti alkalijama, a od posebnog je značaja prilikom određivanja potrebe za kalcizacijom tla.

- Sadržaj P₂O₅ i K₂O – AL metoda

Lakopristupačni fosfor i kalij u tlu određeni su Egner-Riehm-Domingo (AL) metodom (Egner i sur., 1960), koja se temelji na ekstrakciji tla otopinom amonij-laktata. Fosfor dobiven ovom metodom odnosi se na frakciju topivu u vodi i slabim kiselinama, koja je najvažnija za ishranu biljaka. Nakon ekstrakcije fosfora iz tla AL otopinom, njegova koncentracija u filtratu određena je tzv. plavom metodom. Iz bistrog filtrata odpipetira se 10 ml u odmjernu tikvicu od 100 ml, kojoj se zatim doda 9 ml sumporne kiseline koncentracije 4 mol dm⁻³ (213,2 ml koncentrirane H₂SO₄ na 1000 ml otopine). Tikvica se potom dopuni destiliranom vodom do polovice volumena. Nakon zagrijavanja na vodenoj kupelji, u tikvicu se doda 10 ml 1,44 %-tne otopine amonij-molibdata (1,44 g/100 ml) i 2 ml 2,5 %-tne otopine askorbinske kiseline (2,5 g/100 ml). Tikvica se grije još 30 minuta kako bi se razvila plava boja kompleksa. Isti postupak primijenjuje se i na seriju standardnih otopina, u kojima je umjesto filtrata dodano po 10 ml pojedinog radnog standarda. Tako pripremljeni standardi odgovaraju koncentracijama od 100, 200, 300, 400, 500 i 800 mg P₂O₅ po kilogramu tla. Nakon hlađenja, svi uzorci i standardi dopunjeni su destiliranom vodom do oznake na tikvici. Koncentracija fosfora u uzorcima i standardima određuje se spektrofotometrijski na valnoj duljini od 680 nm. Dobiveni rezultati

interpretirani su pomoću kalibracijske krivulje izrađene iz standarda, a obrada podataka izvršena je softverom WinLAB. Rezultati mogu biti izraženi u mg P₂O₅ po kilogramu tla, ili mg P₂O₅ po 100 g tla

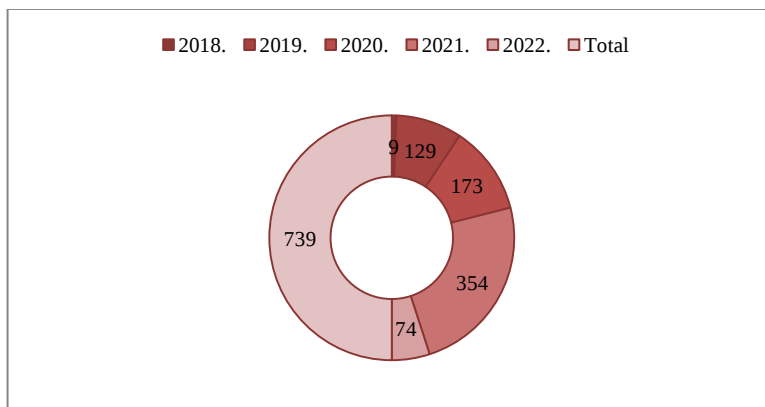
- Sadržaj karbonata – HRN ISO 10693:2014,

Sadržaj karbonata u tlu određen je volumetrijskom metodom prema normi ISO 10693 (1995), i to samo u uzorcima u kojima je utvrđena pH vrijednost u KCl iznad 5,5. Metoda se temelji na mjerenju volumena ugljikova dioksida (CO₂) oslobođenog reakcijom karbonata iz tla s 10 %-tnom otopinom klorovodične kiseline (HCl).

Rezultati ovih analiza omogućili su detaljan uvid u promjene agrokemijskih svojstava tla pod utjecajem različitih uzgojnih sustava te su poslužili kao temelj za daljnje istraživanje održivosti i produktivnosti ekološke poljoprivrede.

S obzirom da su ciljevi ovog istraživanja usmjereni na dinamiku organske tvari u tlu radi preciznijeg interpretiranja rezultata prikupljeni uzorci tla su podijeljeni u tri kategorije na temelju sadržaja organske tvari (Grafikon 1):

1. uzorci s manje od 2 % organske tvari,
2. uzorci s 2-2,5 % organske tvari,
3. uzorci s više od 2,5 % organske tvari.



Grafikon 1. Prikaz broja prikupljenih uzoraka po godinama istraživanja

Za procjenu sekvestracije ugljika i emisije CO₂ tijekom istraživanja, u analiziranim uzorcima tla provedene su sljedeće laboratorijske analize:

2.4. Izračun zaliha ugljika u tlu

Zaliha ugljika u tlu (carbon stock, CS) izračunata je prema Kibet i sur. (2022.), koristeći sljedeću formulu:

$$CS = SOC \times Pb \times D \times 100,$$

gdje je:

CS = zaliha ugljika (kg C ha^{-1}),

SOC = koncentracija organskog ugljika u tlu (g C kg^{-1}),

p_b = volumna gustoća tla (g cm^{-3}),

D = dubina tla (cm).

Procjena sekvestracije ugljika

Za izračun sekvestracije ugljika primijenjena je modificirana formula prema Dold i sur. (2019.), pri čemu je uspoređivano stanje ugljika između različitih uzgojnih sustava (konsocijacija, kontrola i voćnjak) kroz četverogodišnje istraživanje. Sekvestracija ugljika izračunata je prema sljedećoj formuli:

$$SU = SU_{x\text{god}} - SU_{\text{god}},$$

gdje je:

SU = sekvestracija ugljika,

$SU_{x\text{god}}$ = stanje ugljika u promatranoj (x) godini.

Ovaj izračun omogućio je uvid u dinamiku sekvestracije ugljika tijekom istraživačkog razdoblja te usporedbu različitih uzgojnih sustava u kontekstu njihovog potencijala za skladištenje ugljika.

Na ovu metodu izravno se vezao i izračun emisije CO_2 za što je primijenjena službena metoda izračuna emisija, preuzeta iz Pravilnika o registru onečišćavanja okoliša (NN 8/2013) te su se dobili podaci o emisiji CO_2 u konsocijacijskim sustavima kao i u kontroli

2.5. Dodatne analize organske tvari u tlu

Radi izrade regresijskog modela i kreiranja neuronskih mreža sadržaj organske tvari u tlu, osim po standardiziranoj metodi propisanoj ISO standardom (HRN ISO 14235:1998) poznatoj i kao bikormatna metoda sadržaj organske tvari određen je i metodom po Tjurinu (Weil, 2003.) čime je osigurana preciznost u procjeni organske tvari tla. Nadalje za potrebe izračuna sekvestracije ugljika određen je i ukupni organski ugljik (TOC). TOC je određen analizom na TOC analizatoru

metodom oksidacije izgaranjem pri čemu se uzorak ubrizgava u peć za izgaranje na visokoj temperaturi (650 do 1.200 °C) kako bi se spalio sav organski ugljik u uzorku i izmjerio kao potpuno oksidirani ugljični dioksid. Osim različitih tehnika oksidacije, postoje tri različite metode određivanja TOC-a: metoda razlike, metoda adicije i izravna metoda (također nazvana NPOC metoda).

Analize na TOC uređaju kao i analize sadržaja organske tvari po Tjurinu odrađene su u laboratoriju za analizu zemljišta Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu (metoda po Tjurinu) i Poljoprivrednog instituta Novi Sad (TOC).

2.6. Usporedba dvaju analiza određivanja sadržaja organske tvari u tlu

Usporedba bikromatne metode i metode po Tjurinu omogućila je bolji uvid u preciznost i pouzdanost svake metode te u potencijalne razlike u dobivenim vrijednostima organske tvari u tlu, što je bilo ključno za odabir optimalnog pristupa u budućim istraživanjima kao i odabira sigurnije metode analize sadržaja organske tvari u tlu.

Kao što je već navedeno kao usporedna (komparativna) metoda za određivanje sadržaja organske tvari u tlu korištena je metoda po Tjurinu. Od ukupno 739 prikupljenih uzoraka, za daljnje kemijske analize odabran je reprezentativni podskup od 150 uzoraka, pri čemu je primijenjena bikromatna metoda za određivanje organske tvari.

Odabrani uzorci svrstani su u tri kategorije, (Grafikon 2), prema udjelu organske tvari:

1. Uzorci s manje od 2 % organske tvari

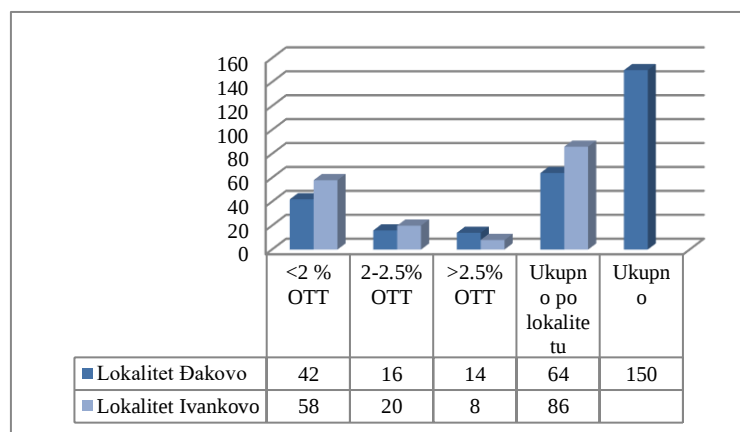
Odabrano je 100 uzoraka: 42 s lokacije Đakovo i 58 s lokacije Ivankovo.

2. Uzorci s udjelom organske tvari između 2 % i 2,5 %

Odabrano je 36 uzoraka: 16 iz Đakova i 20 iz Ivankova.

3. Uzorci s više od 2,5 % organske tvari

Odabrano je 14 uzoraka: 6 iz Đakova i 8 iz Ivankova



Grafikon 2. Prikaz broja reprezentativnih uzoraka po lokalitetu i ukupno

Raspodjela uzoraka po kategorijama određena je na temelju njihovog udjela u ukupnom broju uzoraka s pojedine lokacije, osiguravajući tako reprezentativnost uzoraka za daljnju analizu. Ova kategorizacija omogućila je precizniju procjenu varijabilnosti sadržaja organske tvari u tlu te bolju interpretaciju rezultata kemijskih analiza.

2.7. Fizikalna svojstva tla

Na oba lokaliteta tlo je klasificirano kao luvisol pseudoglej na lesu. Mehanički sastav tla, odnosno njegova tekstura, određen je kao kvantitativni omjer čestica različitih veličina. U ovom istraživanju analiza je provedena prema standardu HRN ISO 11277:2004, koji je kombinirao metode prosijavanja i sedimentacije. Za pripremu suspenzije, 10 g zrakosuhog tla pomiješano je s 25 ml 0,4 n otopine natrijeva pirofosfata ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), a smjesa je ostavljena da odstoji preko noći. Sljedećeg dana dodano je 250 ml destilirane vode i suspenzija je mućkana 6 sati na rotacijskoj mućkalici radi potpune disperzije čestica.

Frakcije pijeska – krupnog i sitnog – izdvojene su filtriranjem suspenzije kroz sita promjera 0,2 mm i 0,06 mm. Isprane čestice su sakupljene, osušene na 105 °C i odvagane, a njihov udio izračunat je kao postotak mase ostatka u odnosu na masu apsolutno suhog tla. Preostala suspenzija prenesena je u cilindar, dopunjena na 1000 ml destiliranom vodom, zatim homogenizirana mućkanjem jednu minutu. Prema Stokesovu zakonu, čestice promjera manjeg od 20 µm (prah i glina) sedimentirale su 10 cm u vremenu od 4 minute i 48 sekundi. Nakon isteka tog vremena, uzeto je 10 ml suspenzije s dubine od 10 cm, koje je potom osušeno i odvagano. Na temelju poznate mase dispergenta (0,0068 g u 10 ml), izračunata je količina frakcije praha i gline.

Frakcija gline određena je sličnim postupkom, ali nakon duljeg vremena sedimentacije – 8 sati (ili 4 sata s dubine od 5 cm). Dobivena vrijednost iskorištena je za izračun udjela gline, dok je sadržaj sitnog praha izračunat kao razlika između ukupne količine praha i gline te udjela gline. Količina krupnog praha dobivena je oduzimanjem zbroja svih prethodno određenih frakcija od 100 %, čime je dobivena cjelovita granulometrijska slika tla. Klasifikacija tla provedena je prema USDA teksturnom trokutu (Soil Survey Staff, 1951).

Za dodatnu procjenu stabilnosti mikroagregata, određena je i frakcija gline u vodi bez dodatka dispergenta. Nakon uklanjanja pijeska, suspenzija je mućkana jednu minutu, a zatim ostavljena da miruje 4 sata. S dubine od 5 cm uzeto je 10 ml suspenzije, koje je sušeno i odvagano, a sadržaj gline izračunat je izravno iz mase suhog ostatka.

Volumna gustoća tla (Škorić, 1982.) izražavala je masu apsolutno suhog tla po jedinici volumena u prirodnom stanju. Za njezino određivanje korišteni su uzorci tla u metalnim cilindrima poznatog volumena (najčešće 100 cm³), koji su sušeni na 105 °C do konstantne mase. Dobivena masa tla podijeljena je s volumenom cilindra, čime je izračunata volumena gustoća.

Gustoća čvrste faze tla određena je metodom pomaka volumena uporabom ksilola. U odmjernu tikvicu od 50 ml dodano je 20 g zrakosuhog tla (uz korekciju za higroskopnu vlagu), nakon čega je dolijevan ksilol do oznake. Razlika volumena u bireti predstavljala je volumen čvrste faze tla, a gustoća je izračunata dijeljenjem mase tla s dobivenim volumenom.

Retencijski kapacitet tla za vodu (Gračanin, 1947.) predstavljao je količinu vode koju je tlo zadržalo 24 sata nakon potpunog zasićenja. Uzorci u Kopeckovim cilindrima postavljeni su na vlažni filter papir radi postepenog zasićenja. Nakon pojave vlage na površini, uzorci su ostavljeni da se ocijede 30 minuta, zatim odvagani i osušeni na 105 °C do konstantne mase. Razlika mase između vlažnog i suhog uzorka iskorištena je za izračun postotka volumne vlažnosti, odnosno retencijskog kapaciteta tla.

2.8. Statistička obrada podataka

Analiza podataka uključivala je:

- Izračun koeficijenata korelacije između analiziranih svojstava i metoda,
- Regresijske modele za prikaz međuovisnosti određenih svojstava tla.
- Neuronske mreže za dopunski prikaz međuovisnosti određenih svojstava tla (Neuroshell Predictor software).

Za formiranje modela primijenjena je kaskadno-korelacijska neuronska mreža, koristeći Neuroshell Predictor software. Kaskadno-korelacijska mreža sastoji se od tri sloja: ulazni sloj, gdje broj neurona ($I_1, I_2, \dots, I_n$) odgovara broju ulaznih varijabli modela, izlazni sloj s jednim izlaznim neuronom (O_1) koji odgovara promatranoj zavisnoj varijabli i skriveni sloj s brojem neurona koji se povećava tijekom treninga. Ti su neuroni povezani vezom, čija je težina podesiva, a konfiguracija se gradi algoritmom trajno postavljenim na +1 neuron u svakoj novoj epohi učenja.

Algoritam kaskadne korelacije nudi sljedeće prednosti:

1. Nema potrebe unaprijed nagađati veličinu (broj neurona u skrivenom sloju), dubinu i funkcije aktivacije u povezivanju slojeva mreže. U procesu učenja neuronska mreža se gradi automatski.
2. Kaskadna korelacija brzo uči. U svakoj novoj fazi učenja, jedan neuron se dodaje u skriveni sloj, što uspostavlja nove korelacije između neurona u ulaznom sloju i neurona u izlaznom sloju.
3. Kaskadna korelacija može izgraditi duboke mreže (detektore značajki visokog reda) bez dramatičnog usporavanja koje vidimo u mrežama povratnog širenja s više od jednog ili dva skrivena sloja.
4. Kaskadna korelacija je korisna za inkrementalno učenje, u kojem se nove informacije dodaju u već istreniranu mrežu.
5. Takvim pristupom u analizi podataka osigurani su uvidi u dinamiku sekvenciranja ugljika u tlu
6. te utjecaj različitih sustava uzgoja na promjene u organskoj tvari tla, te efikasnost upotrebe pojedinih metoda u analizi organske tvari.

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Na oba lokaliteta analizirana su osnovna agrokemijska i fizikalna svojstva tla kako bi se stekao uvid u njihov sastav, strukturu i plodnost. Mjerenja su provedena prema standardnim pedološkim metodama, obuhvaćajući parametre kao što su pH vrijednost tla, sadržaj organske tvari, mehanički sastav, kapacitet za vodu te sadržaj hranjivih tvari.

3.1. Osnovna kemijska svojstva tla na lokalitetu Đakovo i Ivankovo

Tla na lokalitetima Đakova i Ivankova bila su različitih kemijskih i fizikalnih svojstava, što je posljedica specifičnih pedoloških, klimatskih i geoloških čimbenika koji oblikuju njihovu strukturu i funkciju. Ta svojstva presudno utječu na plodnost tla, njegovu sposobnost zadržavanja vode i hranjivih tvari, kao i na prikladnost za razne oblike poljoprivredne proizvodnje. Detaljna analiza kemijskih (pH vrijednost, sadržaj organske tvari, fosfora i kalija) i fizikalnih značajki tla (tekstura, struktura, vodopropusnosti i vodnog kapaciteta) omogućuje sveobuhvatnu procjenu njegove kvalitete te primjenu odgovarajućih agrotehničkih mjera radi održivog gospodarenja tlom. Osim toga, razumijevanje ovih svojstava ključno je za procjenu potencijala tla za sekvestraciju ugljika, čime tlo ima važnu ulogu u ublažavanju klimatskih promjena.

Svi uzorci tla prikupljeni tijekom ovog istraživanja, na oba lokaliteta, klasificirani su prema vrijednostima pH u jednu od pet kategorija kiselosti tla, definiranih standardiziranim kriterijima prema Hrvatskoj Agenciji za Poljoprivredu i Hranu (HAPIH) (2020.) što je prikazano u Tablici 1.

Tablica 1. Prikaz kategorija klasifikacije kiselosti tla (u KCl) prema Hrvatskoj Agenciji za Poljoprivredu i Hranu (HAPIH) (2020.)

Kategorija tla	pH KCl	Reakcija tla
A	<4,50	Jako kisela reakcija
B	4,51-5,50	Kisela reakcija
C	5,51-6,50	Slabo kisela reakcija
D	6,51-7,20	Neutralna reakcija
E	>7,21	Alkalna reakcija

Prikupljeni uzorci tla tijekom istraživanja, na oba lokaliteta, klasificirani su u jednu od osam kategorija temeljenim na vrijednostima opskrbljenosti tla humusom, prema HAPIH-u 2020., prikazano u Tablici 2.

Tablica 2. Klasifikacija opskrbljenosti tla humusom (HAPIH, 2020.)

Opis	Vrijednost za humus (%)
Ekstremno slabo humozno tlo	$\leq 0,5$
Vrlo slabo humozno	0,6-1,0
Slabo humozno tlo	1,1-2,0
Umjereno/osrednje humozno tlo	2,1-3,0
Dosta humozno tlo	3,1-5,0
Jako humozno tlo	5,1-10,0
Vrlo jako humozno	10,1-30,0
Tresetno	$\geq 30,1$

Tijekom istraživanja prikupljeni su uzorci tla s oba lokaliteta, koji su, na temelju pH vrijednosti i stupnja opskrbljenosti fosforom prema smjernicama HAPIH-a (2020.), svrstani u jednu od pet kategorija koje su prikazane u Tablici 3.

Tablica 3. Prikaz kategorija klasifikacije sadržaja fosfora u tlu (HAPIH 2020.)

mg P ₂ O ₅ u 100 g tla		
Klasa opskrbljenosti	pH <6	pH >6
Vrlo slabo opskrbljeno	<8,0	<5,0
Slabo opskrbljeno	8,1-16,0	5,1-12,0
Dobro opskrbljeno	16,1-25,0	12,1-20,0
Bogato opskrbljeno	25,1-45,0	20,1-30,0
Vrlo bogato opskrbljeno	>45	>30

Tijekom istraživanja prikupljeni su uzorci tla s oba lokaliteta, koji su, na temelju teksture tla i stupnja opskrbljenosti fosforom prema smjernicama HAPIH-a (2020.), svrstani u jednu od pet kategorija koje su prikazane u Tablici 4.

Tablica 4. Prikaz kategorija klasifikacije sadržaja kalija u tlu (HAPIH 2020.)

mg K ₂ O u 100 g tla			
Klasa opskrbljenosti	Tla lakše teksture	Tla srednje teške teksture	Tla teške teksture
Vrlo slabo opskrbljeno	<6,0	<8,0	<10,0

Rezultati istraživanja			
Slabo opskrbljeno	6,1-12,0	8,1-14,0	10,1-16,0
Dobro opskrbljeno	12,1-24,0	14,1-28,0	16,1-32,0
Bogato opskrbljeno	24,1-35,0	28,1-40,0	32,1-45,0
Vrlo bogato opskrbljeno	>35	>40	>45

3.1.1. Agrokemijska svojstva tla na lokalitetu Đakovo

Detaljni podaci za sve prikupljene uzorke tla nalaze se u Prilogu 1, gdje su prikazane pojedinačne vrijednosti za svaki uzorak i promatrano agrokemijsko svojstvo. U nastavku rada prikazani su samo prosječni rezultati za svako analizirano svojstvo tla, kako bi se omogućio sažet i pregledan uvid u opća svojstva tla na ispitanom lokalitetu u Đakovu.

3.1.1.1. pH vrijednost na lokalitetu Đakovo

Tablica 5 prikazuje prosječne vrijednosti pH tla izmjerene u otopinama KCl i H₂O za sve prikupljene uzorke na lokalitetu Đakovo. Rezultati pokazuju da tlo ima blago kiselu reakciju, s prosječnim pH vrijednostima od 5,09 u KCl i 6,25 u vodi, pri čemu je pH vrijednost u KCl niža, što je uobičajeno zbog različitih kemijskih svojstava otopina koje utječu na oslobađanje vodikovih iona iz tla.

Tablica 5. Prikaz prosječne vrijednosti pH u svim uzorcima prikupljenim na lokalitetu Đakovo

Agrokemijsko svojstvo	Lokalitet	Prosjeak
pH (KCl)	Đakovo	5,09
pH (H₂O)	Đakovo	6,25

Prikupljeni uzorci tla tijekom istraživanja klasificirani su u pet kategorija temeljenih na pH vrijednostima, prikazano u Tablici 6. Raspodjela uzoraka tla prema kiselosti pokazuje da veliki dio uzoraka pripada kategoriji jako kisele reakcije tla njih čak 54 dok kategorija B, koja obuhvaća tla s pH vrijednostima između 4,51 i 5,50, sadrži najveći broj uzoraka – ukupno 88. Ova kategorija predstavlja tla s kiselom reakcijom i čini gotovo polovicu svih analiziranih uzoraka.. Kombinirano, kategorije A i B sadrže čak 142 uzoraka, što ukazuje na prevladavanje kiselih tala na lokalitetu Đakovo.

Kategorija C, koja se odnosi na slabo kisela tla s pH vrijednostima između 5,51 i 6,50, bila je zastupljena s 26 uzorak. Neutralna tla, koja su svrstana u kategoriju D (pH 6,51–7,20), zastupljena bila su zastupljena s 5 uzoraka. U kategoriji E, koja obuhvaća tla alkalne reakcije s

pH većim od 7,21, bilo je 13 uzoraka.

Tablica 6. Prikaz zastupljenosti uzoraka tla prema klasifikaciji kiselosti tla na lokalitetu Đakovo

Kategorija tla	pH	Reakcija tla	Broj uzoraka
A	<4,50	Jako kisela reakcija	54
B	4,51-5,50	Kisela reakcija	88
C	5,51-6,50	Slabo kisela reakcija	26
D	6,51-7,20	Neutralna reakcija	5
E	>7,21	Alkalna reakcija	13

3.1.1.2. Sadržaj organske tvari u tlu organske tvarina lokalitetu Đakovo

U Tablici 7 prikazane su prosječne vrijednosti sadržaja organske tvari u tlu za sve prikupljene uzorke na lokalitetu Đakovo. Ove vrijednosti pružaju uvid u opću razinu organskih tvari u tlu te omogućuju ocjenu njegove plodnosti i biološke aktivnosti, a prosječno utvrđena vrijednost od 1,8 % ukazuje da je tlo na lokalitetu Đakovo slabo humozno.

Tablica 7. Prikaz prosječne vrijednosti sadržaja organske tvari u svim uzorcima prikupljenim na lokalitetu Đakovo

Agrokemijsko svojstvo	Lokalitet	Prosjek
Humus (%)	Đakovo	1,80

Prikazana Tablica 8 prikazuju broj uzoraka tla svrstane prema razinama humoznosti, pri čemu je ukupno analizirano 186 uzoraka. Raspodjela uzoraka tla prema sadržaju organske tvari pokazuje da veliki broj uzoraka pripada kategoriji slabo humoznih tala. Najveći broj uzoraka, njih 139, pripada kategoriji s udjelom organske tvari između 1,1 % i 2,0 %, što ukazuje na prevladavanje tla s niskom sadržajem organske tvari. Slijedi kategorija umjereno humoznih tala (2,1–3,0 %), u koju pripada 36 uzoraka. Vrlo slabo humozna tla, s udjelom organske tvari između 0,6 % i 1,0 %, zastupljena su s 8 uzoraka, dok je samo 3 uzorka pripadalo kategoriji dosta humoznih tala (3,1–5,0 %).

Tablica 8. Prikaz zastupljenosti uzoraka tla prema klasifikaciji humoznosti tla na lokalitetu Đakovo

Opis	Vrijednost za humus %	Broj uzoraka
Vrlo slabo humozno	0,6-1,0	8
Slabo humozno tlo	1,1-2,0	139
Umjereno humozno tlo	2,1-3,0	36
Dosta humozno tlo	3,1-5,0	3

3.1.1.3. Sadržaj fosfora u tlu na lokalitetu Đakovo

Tablica 9 prikazuje prosječnu vrijednost sadržaja fosfora u tlu za sve uzorke prikupljene na lokalitetu Đakovo, koja je iznosila 9,19 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ tla, pri čemu navedena koncentracija ukazuje na umjerenu do slabu opskrbljenost tla fosforom što je ovisilo o pH reakciji tla.

Tablica 9. Prikaz prosječne vrijednosti sadržaja fosfora u svim uzorcima prikupljenim na lokalitetu Đakovo

Agrokemijsko svojstvo	Lokalitet	Prosjek
Fosfor	Đakovo	9,19

Raspodjela uzoraka tla prema klasi opskrbljenosti fosforom (P₂O₅) pokazuje jasne razlike ovisno o pH vrijednosti tla, što je i prikazano u Tablici 10. Kod kiselijih tala (pH < 6), većina uzoraka (97) pripadala je klasi tala vrlo slabo opskrbljenih fosforom (<8,0 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ tla), dok ih je 53 uzorka bilo u klasi slabo opskrbljeno (8,1–16,0 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ tla). Samo je kod manjeg broja uzoraka kod tala s pH < 6 pripadala klasi dobre (5), bogate (3) ili vrlo bogate (0) opskrbljenost tla fosforom.

S druge strane, kod tla s pH > 6, uzorci su općenito bili ravnomjernije raspoređeni: 9 uzoraka je pripadalo skupini vrlo slabo opskrbljenih tala fosforom, 6 slabo, 7 dobro, 3 bogato, a 3 uzorka vrlo bogato opskrbljenih fosforom. Ova distribucija pokazuje da tla višeg pH-a općenito imaju bolju opskrbljenost fosforom, što je posljedica veće dostupnosti ovog elementa u neutralnim i blago alkalnim uvjetima.

Tablica 10. Prikaz zastupljenosti uzoraka tla prema klasifikaciji sadržaja fosfora u tlu, na lokalitetu Đakovo

Fosfor P_2O_5 100 g ⁻¹				
Klasa opskrbljenosti	pH <6	Broj uzoraka	pH >6	Broj uzoraka
Vrlo slabo opskrbljeno	<8,0	97	<5,0	9
Slabo opskrbljeno	8,1-16,0	53	5,1-12,0	6
Dobro opskrbljeno	16,1-25,0	5	12,1-20,0	7
Bogato opskrbljeno	25,1-45,0	3	20,1-30,0	3
Vrlo bogato opskrbljeno	>45	0	>30	3

3.1.1.4. Sadržaj kalija u tlu na lokalitetu Đakovo

Tablica 11 prikazuje prosječnu vrijednost sadržaja kalija u tlu za sve prikupljene uzorke s lokaliteta Đakovo. Prosječna koncentracija iznosila je 15,72 mg K_2O 100 g⁻¹ tla, što ukazuje na umjerenu opskrbljenost tla kalijem.

Tablica 11. Prikaz prosječne vrijednosti sadržaja kalija u svim uzorcima prikupljenim na lokalitetu Đakovo

Agrokemijsko svojstvo	Lokalitet	Prosjek (mg 100 g ⁻¹ tla)
Kalij	Đakovo	15,72

Tablica 12 prikazuje zastupljenost uzoraka tla prema klasifikaciji sadržaja kalija u tlu na lokalitetu Đakovo, na tlu srednje teksturne klase.

U ovoj tablici, "vrlo slabo opskrbljeno" (<8,0 mg K_2O 100 g⁻¹ tla) označava tlo s izuzetno niskim sadržajem kalija, a samo jedan uzorak spadao je u ovu klasu. "Slabo opskrbljeno" (8,1-14,0 mg K_2O 100 g⁻¹ tla) označava tlo s niskim sadržajem kalija, a u ovu klasu pripadalo je 76 uzoraka, što znači da je najveći broj uzoraka tla na ovom lokalitetu slabije opskrbljen kalijem. "Dobro opskrbljeno" (14,1-28,0 mg K_2O 100 g⁻¹ tla) označava tlo s umjerenim sadržajem kalija,

a 102 uzorka pripadalo je u ovu kategoriju, što znači da većina tla na lokalitetu Đakovo ima dobar sadržaj kalija. "Bogato opskrbljeno" (28,1-40,0 mg K₂O 100 g⁻¹ tla) označava tlo s višim sadržajem kalija, no samo pet uzoraka spadalo je u ovu klasu, što ukazuje da bogato opskrbljena tla čine manji postotak ukupnih uzoraka. "Vrlo bogato opskrbljeno" (>40 mg K₂O 100 g⁻¹ tla) označava tlo s vrlo visokim sadržajem kalija, a samo dva uzorka spadalo je u ovu kategoriju.. Generalno, možemo reći da je većina uzoraka tla s lokaliteta Đakovo imala umjeren sadržaj kalija, s najvećim brojem uzoraka u klasi "dobro opskrbljeno", dok je manji broj uzoraka bio s vrlo niskim ili vrlo visokim sadržajem kalija.

Tablica 12. Prikaz zastupljenosti uzoraka tla prema klasifikaciji sadržaja kalija u tlu, na lokalitetu Đakovo

Klasa opskrbljenosti	Tla srednje teške teksture	Broj uzoraka
Vrlo slabo opskrbljeno	<8,0	1
Slabo opskrbljeno	8,1-14,0	76
Dobro opskrbljeno	14,1-28,0	102
Bogato opskrbljeno	28,1-40,0	5
Vrlo bogato opskrbljeno	>40	2

3.1.2. Prikaz agrokemijskih svojstava tla na lokalitetu Ivankovo

Kao i na lokalitetu u Đakovu, i na ovom su lokalitetu analizirana osnovna agrokemijska i fizikalna svojstva tla, ispitivanja su provedena prema standardno propisanim metodama sukladno kontroli plosnoti tla.

3.1.2.1. pH reakcija tla na lokalitetu Ivankovo

Tablica 13 prikazuje prosječne vrijednosti pH tla na lokalitetu Ivankovo, trenutnu– (H₂O) i supstitucijsku (KCl). Prosječni pH u vodi iznosio je 6,58, što ukazuje na blago kiselu do neutralnu reakciju, dok je pH u KCl otopini bio niži i iznosio je 5,40.

Tablica 13. Prikaz prosječne vrijednosti pH reakcije u svim uzorcima prikupljenim na lokalitetu Ivankovo

Agrokemijsko svojstvo	Lokalitet	Prosjek
pH H ₂ O	Ivankovo	6,58
pH KCl	Ivankovo	5,40

Tablica 14 prikazuje raspodjelu uzoraka tla s lokaliteta Ivankovo prema pH vrijednosti i pripadajućoj reakciji tla. Najveći broj uzoraka spadao je u kategorije jako kisela (23) i kisela reakcija tla (30). Manji broj uzoraka imao je slabo kiselu (20) i neutralnu (8) reakciju, dok se alkalna reakcija javljala u samo 8 uzoraka. Ova raspodjela pokazuje da većina tla na ovom području ima pH vrijednosti ispod 6,5.

Tablica 14. Prikaz raspodjele uzoraka na kategorije pH reakcije tla na lokalitetu Ivankovo

Kategorija tla	pH	Reakcija tla	Broj uzoraka
A	<4,50	Jako kisela reakcija	23
B	4,51-5,50	Kisela reakcija	30
C	5,51-6,50	Slabo kisela reakcija	20
D	6,51-7,20	Neutralna reakcija	8
E	>7,21	Alkalna reakcija	8

3.1.2.2. Sadržaj organske tvari u tlu na lokalitetu Ivankovo

Tablica 15 prikazuje prosječan sadržaj organske tvari u tlu na lokalitetu Ivankovo, koji je iznosio 1,77 % tj u tlo kategorije slabo humoznih tla.

Tablica 15. Prikaz prosječne vrijednosti sadržaja organske tvari u svim uzorcima prikupljenim na lokalitetu Ivankovo

Agrokemijsko svojstvo	Lokalitet	Prosjek
Organska tvar (%)	Ivankovo	1,77

Tablica 16 prikazuje raspodjelu uzoraka tla prema kategorijama sadržaja organske tvari u tlu. Samo jedan uzorak pripadao je kategoriji vrlo slabo humoznog tla (0,6–1,0 %), što ukazuje na izuzetno nizak udio organske tvari. Najveći broj uzoraka, njih 66, svrstani su u kategoriju slabo humoznog tla (1,1–2,0 %), što znači da većina tla na ispitivanom području ima relativno nizak sadržaj organske tvari. Umjereno humozno tlo (2,1–3,0 %) obuhvaćalo je 22 uzorka, a u kategoriju dosta humoznog tla (3,1–5,0 %) nije svrstano nijedno tlo, što ukazuje da na

analiziranom području nije bilo tla s visokim sadržajem organske tvari.

Tablica 16. Prikaz zastupljenosti uzoraka tla prema klasifikaciji humoznosti tla na lokalitetu Ivankovo

Opis	Vrijednost za humus %	Broj uzoraka
Vrlo slabo humozno	0,6-1,0	1
Slabo humozno tlo	1,1-2,0	66
Umjereno humozno tlo	2,1-3,0	22
Dosta humozno tlo	3,1-5,0	0

3.1.2.3. Sadržaj fosfora u tlu na lokalitetu Ivankovo

Tablica 17 prikazuje sadržaj fosfora na lokalitetu Ivankovo. Prema dobivenim rezultatima, prosječna vrijednost fosfora u tlu na ovom lokalitetu iznosila je 14,71 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ tla. Ova vrijednost ukazuje na slabu do dobru opskrbljenost fosforom što je bilo usko vezano uz pH reakciju tla.

Tablica 17. Prikaz prosječne vrijednosti sadržaja fosfora u svim uzorcima prikupljenim na lokalitetu Ivankovo

Agrokemijsko svojstvo	Lokalitet	Prosjek (mg P ₂ O ₅ 100 g ⁻¹ tla)
Fosfor	Ivankovo	14,71

Tablica 18 prikazuje klasifikaciju opskrbljenosti tla fosforom, u odnosu na pH vrijednost tla. Podaci su podijeljeni na uzorke tla s kiselim reakcijama (pH < 6) i one s neutralnim do alkalnim reakcijama (pH > 6), a pritom je za svaku pH skupinu prikazan broj uzoraka koji pripadaju određenoj klasi opskrbljenosti tla fosforom. U kategoriji kiselih tala, samo je jedan uzorak pripadao klasi slabo opskrbljenih fosforom, dok su čak 53 uzorka pripadali klasi slabo opskrbljenih (8,1–16,0 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ tla). Devet uzoraka je bilo je u klasi dobro opskrbljenih (16,1–25,0 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ tla), dok nijedan uzorak nije ulazio u kategoriju bogato ili vrlo bogato opskrbljenih, što ukazuje na ograničen sadržaj fosfora u kiselim tlama. Kod uzorka tla s pH vrijednostima višim od 6 nije utvđeno ni jedan uzorak u klasi vrlo slabo opskrbljenih (<5,0 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ tla), a samo jedan uzorak je svrstan u kategoriju slabo opskrbljenog (5,1–12,0 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ tla). Najveći broj uzoraka, njih 16, bili su u klasi dobro opskrbljeno (12,1–20,0 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ tla), dok ih se 8 svrstalo u klasu bogato opskrbljenih (20,1–30,0 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ tla), a jedan uzorak čak i u klasi vrlo bogato opskrbljenih (>30 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ tla).

Tablica 18. Prikaz zastupljenosti uzoraka tla prema klasifikaciji sadržaja fosfora u tlu na lokalitetu Ivankovo

Fosfor P ₂ O ₅ 100 g ⁻¹ tla				
Klasa opskrbljenosti	pH <6	Broj uzoraka	pH >6	Broj uzoraka
Vrlo slabo opskrbljeno	<8,0	1	<5,0	0
Slabo opskrbljeno	8,1-16,0	53	5,1-12,0	1
Dobro opskrbljeno	16,1-25,0	9	12,1-20,0	16
Bogato opskrbljeno	25,1-45,0	0	20,1-30,0	8
Vrlo bogato opskrbljeno	>45	0	>30	1

3.1.2.4. Sadržaj kalija u tlu na lokalitetu Ivankovo

Tablica 19 prikazuje prosječnu vrijednost sadržaja kalija u tlu za sve prikupljene uzorke s lokaliteta Ivankovo. Prosječna koncentracija iznosila je 19,91 mg K₂O 100 g⁻¹ tla, što ukazuje na dobru opskrbljenost tla kalijem.

Tablica 19. Prikaz prosječne vrijednosti sadržaja kalija u svim uzorcima prikupljenim na lokalitetu Ivankovo

Agrokemijsko svojstvo	Lokalitet	Prosjek (mg K ₂ O 100 g ⁻¹ tla)
Kalij	Ivankovo	19,91

Tablica 20 prikazuje zastupljenost uzoraka tla na lokalitetu Ivankovo prema klasifikaciji sadržaja kalija u tlu. Većina uzoraka (80) spadali su u kategoriju "dobro opskrbljeno" (14,1–28,0 mg K₂O 100 g⁻¹ tla), a u klasu "slabo opskrbljeno" (8,1–14,0 mg K₂O 100 g⁻¹ tla) pripadala su samo 4 uzorka.

Bogato opskrbljeno tlo kalijem (28,1–40,0 mg K₂O 100 g⁻¹ tla) bilo je zastupljeno s 5 uzoraka dok u klasama "vrlo slabo opskrbljeno" (<8,0 mg K₂O 100 g⁻¹ tla) i "vrlo bogato opskrbljeno" (>40 mg K₂O 100 g⁻¹ tla) nije zabilježen nijedan uzorak, što znači da ekstremno niske i ekstremno visoke vrijednosti kalija u analiziranim uzorcima nisu bile utvrđene. Zaključno, tlo na lokalitetu Ivankovo pokazivalo je relativno ujednačenu i stabilnu opskrbljenost kalijem, većinom u kategoriji "dobro opskrbljeno" koji se smatra optimalnim za poljoprivrednu proizvodnju.

Tablica 20. Prikaz zastupljenosti uzoraka tla prema klasifikaciji sadržaja kalija u tlu, na lokalitetu Ivankovo

Vrlo slabo opskrbljeno	<8,0	0
Slabo opskrbljeno	8,1-14,0	4
Dobro opskrbljeno	14,1-28,0	80
Bogato opskrbljeno	28,1-40,0	5
Vrlo bogato opskrbljeno	>40	0

3.2. Prikaz fizikalnih svojstava tla na lokalitetu Đakovo i Ivankovo

Na lokalitetu Đakovo i Ivankovo određena su i fizikalna svojstva tla radi svrstavanja analiziranih tala u određene teksturne klase.

3.2.1. Prikaz fizikalnih svojstava tla na lokalitetu Đakovo

Tlo na lokalitetu Đakovo opisano je kroz tri horizonta: P (0 – 37 cm), Btg (37 – 60 cm) i BtgC (60 – 125 cm). Površinski horizont (P) karakteriziran je pepeljasto sivom bojom, praškasto ilovastom teksturom te sitno mrvičastom strukturom. Ova kombinacija ukazuje na dobro razvijen površinski sloj tla s povoljnim uvjetima za rast biljaka, a prisutnost kalcijevog karbonata (CaCO_3) u ovom sloju nije zabilježena. Sljedeći sloj, horizont Btg, bio je smeđe boje, s teksturom praškasto glinaste ilovače, što ukazuje na povećan udio gline, ali i dalje s dobrom mrvičastom strukturom. I u ovom sloju karbonati nisu bili prisutni. Najdublji analizirani sloj, horizont BtgC, bio je sivo smeđe boje, s teksturom praškaste ilovače i sitno mrvičastom strukturom. U ovom sloju primjećena je pojava kalcijevog karbonata. Tlo na ovom lokalitetu pripadalo je srednje teškoj teksturi.

Tablica 21 prikazuje fizikalna svojstva tla na lokalitetu Đakovo prema različitim dubinama tla, te je na dubini 0 do 37 cm dubine utvrđeno 2,95 % pijeska, 25,90 % gline i 1,79 % organske tvari. Ovaj sloj imao je vrlo visoku propusnost vode od 97 mm h^{-1} . na dubini od 37 i 60 cm dubine, utvrđeno je 2,72 % pijeska, 28,07 % gline i manji udio organske tvari (0,62 %), a propusnost vode u njemu iznosio je 35 mm h^{-1} . Na dubini od 60 do 125 cm utvrđeno je 2,57 % pijeska, 27,72 % gline i 1,24 % organske tvari.

Tablica 21. Prikaz fizikalnih svojstava tla na lokalitetu Đakovo

Dubina	Debljina	Pijesak	Glina	CaCO ₃	Organska tvar	Propusnost
(cm)	(m)	%	%	%	%	mm h ⁻¹
0-37	0,37	2,95	25,90	0	1,79	97
37-60	0,23	2,72	28,07	0	0,62	35
60-125	0,65	2,57	27,72	1,24	0,55	60

3.2.2. Prikaz fizikalnih svojstava tla na lokalitetu Ivankovo

Na lokalitetu Ivankovo analizirano je tlo do dubine od 140 cm, pri čemu su utvrđena četiri horizonta: IP, IIP, Btg i BtgC. Površinski horizont IP (0 – 40 cm) karakteriziran je pepeljasto smeđom bojom, praškasto-ilovastom teksturom te sitno mrvičastom strukturom, uz prisutnost kalcijeva karbonata (CaCO₃). Sljedeći horizont IIP (40 – 61 cm) bio je svijetlosmeđe boje, praškasto-ilovaste teksture i sitno mrvičaste strukture, no bez prisutnosti CaCO₃. Horizont Btg (61 – 112 cm) bio je karakteriziran mramoriranom smeđe-sivom bojom, tekstura je bila praškasto-glinasto-ilovasta, a struktura krupno mrvičasta, također bez kalcijeva karbonata. Najdublji sloj BtgC (112 – 140 cm) bio je žute boje, s praškasto-ilovastom teksturom i praškastom strukturom, bez prisutnosti CaCO₃.

Tablica 22 prikazuje fizikalna svojstva tla na lokalitetu Ivankovo prema različitim dubinama tla. Na dubini od 0 do 40 cm utvrđeno je 3,70 % pijeska, 17,96 % gline, 0,83 % kalcijevog karbonata (CaCO₃) i 1,59 % organske tvari. Propusnost vode u ovom sloju bila je visoka, 152 mm h⁻¹. Na dubini od 40 i 61 cm utvrđeno je 2,73 % pijeska i 29,12 % gline, bez prisutnosti kalcijevog karbonata. Organska tvar činila 0,79 %, a utvrđena propusnost tla za vodu bila je 43 mm h⁻¹. Na dubini od 61 do 112 cm utvrđeno je 2,02 % pijeska, 34,02 % gline i 0 % kalcijevog karbonata, dok je udio organske tvari bilo 0,83 %. Propusnost ovog sloja bila je 24 mm h⁻¹, što ukazuje na još nižu propusnost u odnosu na prethodne slojeve. Na lokalitetu Ivankovo određena je i mehanički sastav na dubini od 112 i 140 mm te je utvrđen sadržaj od 2,43 % pijeska, 29,95 % gline i 0,45 % organske tvari. Propusnost za vodu iznosila je 86 mm h⁻¹.

Tablica 22. Prikaz fizikalnih svojstava tla na lokalitetu Ivankovo

Dubina	Debljina	Pijesak	Glina	CaCO ₃	Organska tvar	Propusnost
(cm)	(m)	%	%	%	%	mm h ⁻¹
0-40	0,4	3,70	17,96	0,83	1,59	152
40-61	0,21	2,73	29,12	0	0,79	43
61-112	0,61	2,02	34,02	0	0,83	24
112-140	0,28	2,43	29,95	0	0,45	86

3.3. Komparativne metode određivanja organske tvari u tlu

Uzorci tla klasificirani su u tri kategorije prema sadržaju organske tvari: <2,0 %, 2,1–2,5 % i >2,5 %. Za svaku kategoriju odabran je reprezentativan broj uzoraka, proporcionalno ukupnoj brojnosti uzoraka unutar pojedine skupine. Svaki uzorak tla analiziran je primjenom dviju metoda za određivanje sadržaja organskog ugljika: standardizirane metode prema normi HRN ISO 14235:1998 (bikromatna metoda) te Tjurinove metode. Cilj paralelne primjene obje metode bio je omogućiti usporedbu dobivenih rezultata i procjenu njihove međusobne usklađenosti.

3.3.1. Lokalitet Đakovo

Na lokalitetu Đakovo, za potrebe određivanja organskog ugljika u tlu (sadržaja organske tvari), provedene su analize koristeći dvije različite analitičke metode: HRN ISO 14235:1998 (bikromatna metoda) i Tjurinova metoda. Ukupno je analizirano 164 uzorka tla, koji su grupirani u tri kategorije prema sadržaju organske tvari, a u daljnjem tekstu prikazana je dinamika dobivenih rezultata na 64 uzorka radi lakšeg prikaza rezultata. U prvoj kategoriji, sa sadržajem organske tvari manjim od 2 %, grupirano je bilo 26 uzoraka. Druga kategorija obuhvaćala je uzorke s sadržajem organske tvari od 2,1 % do 2,5 %, a u ovoj grupi nalazilo se 28 uzoraka. Treća kategorija, koja se odnosila na uzorke s više od 2,5 % organske tvari, uključivala je 10 uzoraka. Kategorije uzoraka omogućile su detaljniju analizu varijacija u sadržaju organske tvari, čime se omogućuje preciznija usporedba između dviju metoda određivanja sadržaja organske tvari u tlu. Kategorije su odabrane kako bi se obuhvatio širi

raspon tla s različitim sadržajem organske tvari, s ciljem utvrđivanja mogućih razlika u rezultatima između korištenih metoda.

Tablica 23. Prikaz usporedbe rezultata metoda za određivanje sadržaja organskog ugljika u tlu na lokalitetu Đakovo

Kategorija	Komparativne metode sadržaja organskog ugljika	Prosječni sadržaj organskog ugljika (%)	Razlika (apsolutna)
< 2,0 % organske tvari	Bikromatna metoda	1,46	0,11
	Metoda po Tjurinu	1,57	
2,1 – 2,5 % organske tvari	Bikromatna metoda	2,08	0,01
	Metoda po Tjurinu	2,07	
> 2,5 % organske tvari	Bikromatna metoda	2,85	0,30
	Metoda po Tjurinu	2,55	

Tablica 23 prikazuje usporedbu dviju metoda određivanja sadržaja organskog ugljika u tlu: bikromatne metode i metode po Tjurinu. Kod niskog sadržaja organske tvari (<2,0 %) obje metode daju slične vrijednosti, pri čemu je rezultat po Tjurinu nešto viši (1,57 % naspram 1,46 %), uz relativno malu apsolutnu razliku (0,11). U intervalu od 2,1–2,5 % organske tvari vrijednosti dviju metoda gotovo se u potpunosti podudaraju (2,08 % i 2,07 %), što ukazuje na njihovu visoku podudarnost u tom rasponu. Međutim, kod uzoraka s većim sadržajem organske tvari (>2,5 %) dolazi do značajnijeg odstupanja: bikromatna metoda pokazuje veće vrijednosti (2,85 %) u odnosu na metodu po Tjurinu (2,55 %), s apsolutnom razlikom od 0,30.

3.3.2. Lokalitet Ivanka

Na lokalitetu Ivanka analizirano je 86 uzoraka tla, koji su prema sadržaju organske tvari grupirani u tri kategorije. Prva kategorija obuhvaćala je uzorke tla s sadržajem organske tvari manjim od 2 %, u kojoj je bilo grupirano 42 uzorka. Druga kategorija uključivala je uzorke s udjelom organske tvari između 2,1 % i 2,5 %, te je u ovu grupu svrstano 36 uzoraka. Treća kategorija obuhvaća uzorke s većim sadržajem organske tvari, od 2 % i više, a u ovoj grupi nalazilo se 8 uzoraka. Ovakav raspored uzoraka u tri različite kategorije omogućuje precizniju analizu varijacija u sadržaju organske tvari i njegovih učinaka na točnost i pouzdanost različitih metoda za određivanje organskog ugljika.

Tablica 24. Prikaz usporedbe rezultata metoda za određivanje sadržaja organskog ugljika u tlu, na lokalitetu Ivankovo

Kategorija	Komparativne metode sadržaja organskog ugljika	Prosječni sadržaj organskog ugljika (%)	Razlika (apsolutna)
< 2,0 % organske tvari	Bikromatna metoda	1,56	0,26
	Metoda po Tjurinu	1,82	
2,1 – 2,5 % organske tvari	Bikromatna metoda	2,09	0,05
	Metoda po Tjurinu	2,04	
> 2,5 % organske tvari	Bikromatna metoda	2,58	0,13
	Metoda po Tjurinu	2,45	

Tablica 24 prikazuje usporedbu bikromatne metode i metode po Tjurinu u određivanju sadržaja organskog ugljika na lokalitetu Ivankovo. U kategoriji s manje od 2,0 % organske tvari uočava se veća razlika između metoda: bikromatna metoda daje nižu vrijednost (1,56 %) u odnosu na Tjurinovu metodu (1,82 %), uz apsolutnu razliku od 0,26. U srednjem rasponu (2,1–2,5 %) rezultati se gotovo podudaraju, pri čemu bikromatna metoda pokazuje 2,09 %, a Tjurinova 2,04 %, što rezultira minimalnom razlikom od 0,05. Kod višeg sadržaja organske tvari (>2,5 %) bikromatna metoda daje nešto veće vrijednosti (2,58 %) od Tjurinove (2,45 %), s razlikom od 0,13. Dobiveni podaci ukazuju na to da se razlike između metoda smanjuju u srednjem rasponu sadržaja organskog ugljika, dok su izraženije pri niskim i višim koncentracijama. Time se potvrđuje da obje metode daju usporedive rezultate, ali s potencijalnim odstupanjima ovisno o količini organske tvari u tlu.

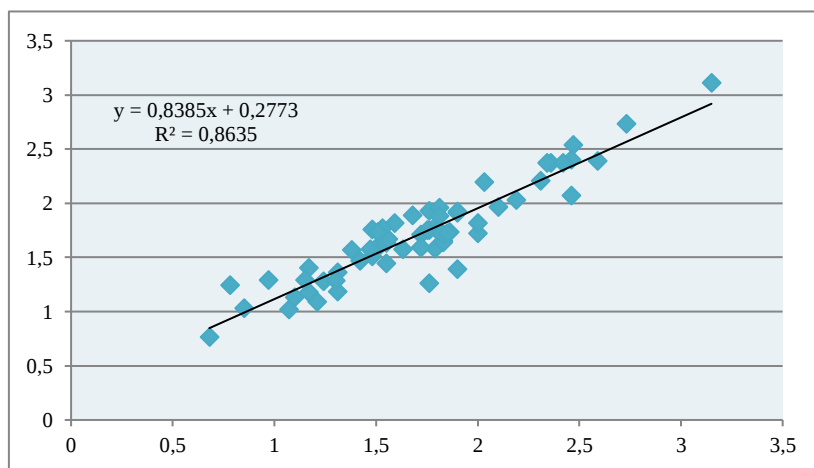
3.4. Modeli usporedbe metoda za određivanje organske tvari u tlu

Modeli usporedbe ekstrakcijskih metoda zasnivaju se na korelacijama između pojedinih metoda i jedandžbama proračuna vrijednosti određenih metoda na temelju analitičkih rezultata drugih ekstrakcijskih metoda i ostalih svojstava tla.

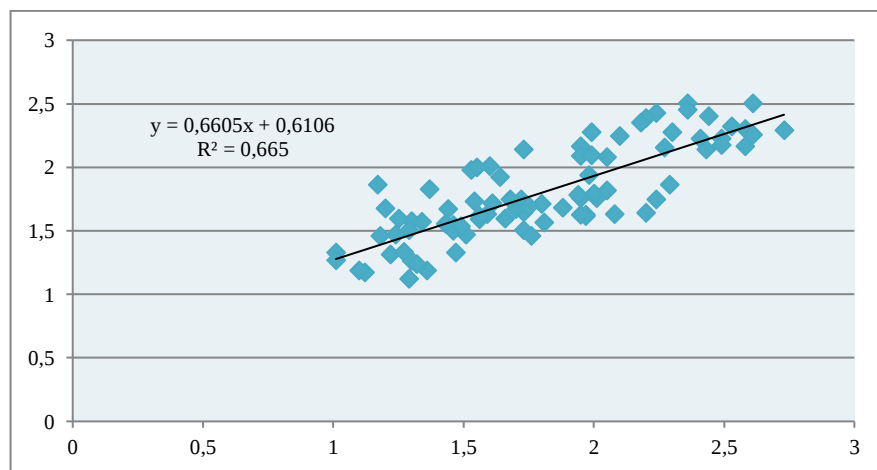
U provedenom istraživanju utvrđena je visoka korelacija između analiziranih metoda na oba lokaliteta te je ona iznosila $r = 0,92$ za lokalitet Đakovo i $r = 0,82$ za lokalitet Ivankovo

(Grafikoni 3 i 4). Utvrđena korelacija odnosila se na ukupan broj uzoraka neovisno o kategoriji opskrbljenosti tla organskom tvari.

Ovi rezultati poslužili su nam za izradu modela regresije koji su u sebi osim osnovnih pokazatelja usporedbe dvije metode sadržavali i neke dopunske parametre (supstitucijska kiselost) radi povećanja preciznosti modela.



Grafikon 3. Korelacija između metoda za određivanje organske tvari na lokalitetu Đakovo



Grafikon 4. Korelacija između metoda za određivanje organske tvari na lokalitetu Ivankovo

3.4.1. Regresijski modeli

Regresijski modeli za usporedbu metoda ekstrakcije organske tvari u tlu razvijeni su s ciljem omogućavanja procjene sadržaja organske tvari određenom metodom bez potrebe za izravnim laboratorijskim određivanjem istom metodom. Ovi modeli temelje se na dostupnim analitičkim

podacima o drugim svojstvima tla, dobivenima analizom istog uzorka. Primjerice, laboratorijskom analizom mogu se utvrditi sadržaj organske tvari, pH vrijednost tla te ostala kemijska svojstva, a na temelju tih podataka moguće je predvidjeti sadržaj organske tvari koji bi bio utvrđen alternativnim ekstrakcijskim metodama, poput metode po Tjurinu ili bilo koje druge relevantne metode.

Razvijeni regresijski modeli uključuju temeljnu jednadžbu kojom se sadržaj organske tvari određen jednom metodom (npr. bikromatnom) izračunava isključivo na temelju rezultata sadržaja organske tvari dobivenog drugom metodom (metodom po Tjurinu), neovisno o ostalim svojstvima tla kao što su pH ili ostala kemijska svojstva. Takvi modeli u ovom su istraživanju označeni kao „H“ modeli, jer koriste isključivo sadržaj organske tvari kao ulazni parametar. Matematički, ovi modeli izraženi su sljedećom regresijskom jednadžbom:

$$Y = \text{osječak} + H \cdot X_1$$

gdje je „Y“ procijenjeni sadržaj organske tvari dobiven ciljnom metodom ekstrakcije, zatim odsječak na osi y, „H“ je regresijski koeficijent koji predstavlja odnos između dviju metoda, a „X₁“ je eksperimentalno određen sadržaj organske tvari (%), utvrđen metodom koja se koristi kao referentna.

S obzirom na varijabilnost tla i razlike u ekstrakcijskim metodama, korelacijski koeficijenti između bilo koje dvije metode niži su od 1, što ukazuje na određeni stupanj neslaganja između modeliranih i stvarnih vrijednosti. Ova odstupanja kvantificirana su za svaki model kao relativna pogreška (izražena u postocima).

Smanjenje odstupanja između stvarnih i modeliranih vrijednosti predstavlja ključni korak u povećanju točnosti regresijskih modela, a time i u smanjenju pogreške pri procjeni sadržaja organske tvari u tlu dobivenog različitim ekstrakcijskim metodama. U okviru ovog istraživanja, preciznost modela povećana je primjenom dvaju pristupa:

1. Primjenom različitih osnovnih regresijskih jednadžbi, tj. „H“ modela, za svaku pojedinačnu skupinu uzoraka unutar definiranog raspona sadržaja organske tvari. Ovim se pristupom sadržaj organske tvari implicitno uzima u obzir kao značajna varijabla u modeliranju, iako nije eksplicitno uključen u regresijsku jednadžbu.

2. Uvođenjem dodatnih svojstava tla kao prediktora u regresijsku jednadžbu, čime su razvijeni prošireni modeli označeni kao „HS“. Ovi modeli uključuju sadržaj organske tvari i supstitucijsku kiselost tla (izraženu kao pHKCl) kao ulazne varijable. Regresijska jednadžba „HS“ modela ima oblik:

$$Y = \text{odsječak} + H \cdot X_1 + S \cdot X_2$$

gdje je „Y“ procijenjeni sadržaj organske tvari dobiven ciljnom metodom, zatim odsječak na y-osi, „H“ je koeficijent vezan uz sadržaj organske tvari određen polaznom metodom (X_1), dok „S“ predstavlja regresijski koeficijent koji kvantificira utjecaj supstitucijske kiselosti tla (X_2 , izražen kao pHKCl) na ciljnu varijablu.

Svi modeli razvijeni su i primijenjeni na dvije različite istraživane lokacije. Podjela uzoraka tla u tri skupine temeljem sadržaja organske tvari rezultirala je promjenom koeficijenata korelacije, ali je istovremeno potvrdila postojanje statistički značajne povezanosti između pHKCl tla i sadržaja organske tvari dobivene različitim metodama.

Nadalje, potvrđeni statistički značajan utjecaj lokacije uzorkovanja na rezultate modela upućuje na važnost pedoloških i agrokemijskih čimbenika u interpretaciji analitičkih rezultata i primjeni regresijskih modela.

3.4.1.1. Regresijski model usporedbe bikromatne i metode po Tjurinu na lokalitetu Đakovo

Osnovna namjena ovog modela je proračun vrijednosti sadržaja organske tvari na temelju vrijednosti analizom utvrđenog sadržaja organske tvari i ostalih svojstava tla. Uvođenje dodatnih svojstava tla u linearnu multiregresijsku jednadžbu $Y = H + HX_1 + SX_2$ utjecalo je na odstupanje modela (Tablica 25.), te je smanjilo koeficijent korelacije s 0,92 na 0,83 u ukupnom broju uzoraka na lokalitetu Đakovo.

Podjela uzoraka po kategorijama humoznosti utjecala je na različite načine na odstupanje modela. Općenito možemo reći kako se odstupanje modela povećalo, posebno u kategoriji uzoraka sa većim sadržajem organske tvari od 2,5 % dok je preciznost modela za kategoriju uzoraka od 2-2,5 % bila vrlo slična osnovnom modelu što je vidljivo u Tablici 25.

Tablica 25. Parametri regresijskih jednadžbi i odstupanje modela za proračun organske tvari na temelju Tjurin metode i supstitucijske pH tla na lokalitetu Đakovo

Organska tvar	Jednadžba modela	r	odsječak	Tjurin (H)	pH _{KCl} (S)	odstupanje modela (relativno %)
svi uzorci	H*	0,92	0,4929	0,687643	-	2,85
	HS*	0,83	0,72383	0,701451	-0,005396	3,79
<2 %	H*	0,57	1,00943	0,383171	-	4,58
	HS*	0,61	1,007585	0,425811	-0,0044258	4,25
2-2,5 %	H*	0,87	0,08447	0,87134	-	2,87
	HS*	0,85	0,08554	0,85421	0,000587	3,48
>2,5 %	H*	0,16	2,126141	-0,02297	-	25,98
	HS*	0,25	2,111887	-0,023002	-0,002874	17,89

*H=osnovni model (organska tvar), HS= osn. model +pHKCl

3.4.1.2. Regresijski model usporedbe bikromatne i metode po Tjurinu na lokalitetu Ivankovo

Na lokalitetu Ivanakovo kod ukupnog seta podataka utvrđen je nešto niži koeficijent korelacije koji je direktno utjecao na odstupanje kreiranih modela. Kao što je vidljivo u Tablici 30., uvođenje dopunkog parametra supstitucijske kiselosti kao i podjela uzoraka po kategorijama humoznosti imali su za posljedicu promjenu preciznosti modela. Tako je najveća preciznost modela utvrđena za osnovni model $Y = H = \text{odsječak} + HX1$ za kategoriju humoznosti iznad 2,5 % dok je najveće odstupanje utvrđeno u kategoriji ispod 2 % organske tvari za oba modela.

Tablica 26. Parametri regresijskih jednadžbi i odstupanje modela za proračun organske tvari na temelju Tjurin metode i supstitucijske pH tla na lokalitetu Ivankovo

Organska tvar	Jednadžba modela	r	odsječak	Tjurin (H)	pH _{KCl} (S)	odstupanje modela (relativno %)
svi uzorci	H*	0,82	0,351476	0,810751	-	4,25
	HS*	0,79	0,150094096	0,817700238	0,035121186	5,06
<2 %	H*	0,39	0,956847	0,550425	-	12,36
	HS*	0,35	0,885641	0,45878	0,0358455	13,36

2-2,5 %	H*	0,48	0,882555	0,286903	-	8,95
	HS*	0,51	0,745633	0,358741	0,055214	8,02
>2,5 %	H*	0,86	0,559869	0,70995	-	3,99
	HS*	0,78	0,458976	0,66987	0,036621	5,15

*H=osnovni model (organska tvar), HS= osn. model +pHKCl

3.5. Neuronske mreže

U posljednjem desetljeću umjetna inteligencija (UI) zauzima sve značajniju ulogu u različitim istraživačkim disciplinama, pri čemu su razvijene brojne metode koje se temelje na njezinim principima. Ove metode često se uspješno suprotstavljaju tradicionalnim statističkim tehnikama, nudeći dodatne prednosti u složenijim analitičkim kontekstima. Među tim pristupima, posebno se ističu neuronske mreže (NN), koje nalaze široku primjenu u brojnim znanstvenim područjima.

Neuronske mreže definiraju se kao neparametarski, nelinearni regresijski modeli koji ne zahtijevaju prethodne pretpostavke o obliku odnosa između varijabli (Despagne i Massart, 1998). Strukturno, sastoje se od skupa međusobno povezanih jedinica za obradu podataka, tzv. neurona, koji zaprimaju ulazne podatke iz više izvora, te generiraju izlazne vrijednosti putem unutarnjih prijenosnih (aktivacijskih) funkcija. Osnovne jednadžbe neuronskih mreža opisane su na sljedeći način (Dougherty, 1995):

$$I_j = \sum_{i=0}^n W_{ij} X_i$$

$$Y_j = f(I_j)$$

gdje I_j predstavlja zbroj ponderiranih ulaznih vrijednosti, W_{ij} težinske koeficijente, X_i ulazne varijable, dok je f nelinearna aktivacijska funkcija. Najčešće korištene aktivacijske funkcije uključuju sigmoidnu funkciju, hiperboličku tangens funkciju, sinusnu i kosinusnu funkciju, kao i jednostavne linearne funkcije (Otković Ištoka i Šraml, 2011). Iako se neuronske mreže klasificiraju kao neparametarski modeli, njihova se funkcionalnost temelji na skupu podešavanih parametara — težina i pristranosti — koji se optimiziraju tijekom procesa učenja.

Za učinkovitu primjenu neuronske mreže, potrebno je formirati dvije baze podataka: prva se koristi za treniranje i validaciju mreže, dok je druga namijenjena testiranju generalizacijske sposobnosti razvijenog modela.

U ovom istraživanju, baza podataka korištena za treniranje i validaciju neuronskih mreža sadržavala je iste ulazne varijable kao i pri razvoju regresijskih modela, s ciljem dodatne provjere njihove preciznosti, kao i ispitivanja međuovisnosti uspoređivanih ekstrakcijskih metoda za određivanje organske tvari i ostalih relevantnih kemijskih svojstava tla, prvenstveno supstitucijske kiselosti (pHKCl). Neuronske mreže primijenjene su na obje istraživane lokacije, no analiza je provedena na ukupnom skupu podataka i supstitucijske kiselosti bez obzira na kategorizaciju tla prema razinama opskrbljenosti organskom tvari.

3.5.1. Neuronske mreže na lokalitetu Đakovo

Neuronske mreže primijenjene na podacima s lokaliteta Đakovo potvrdile su utvrđeni koeficijent korelacije od $r=0,92$ s posebnim naglaskom na važnost pojedinog ulaznog parametra (Tablica 27.). Slika 2 prikazuje da je u modelu puno veći utjecaj imala vrijednost organske tvari u odnosu na vrijednost pHKCl. Naime, najvažnija ulazna varijabla bila je sadržaj organske tvari koja je imala više od 91 % utjecaja na model dok je pHKCl = 0,083 kao dodatna varijabla imala manji, ali ipak značajni doprinos primarno u pogledu preciznosti. Nadalje, kao što je na slici 2 istaknuto crvenom bojom model s 47 neurona daje najbolji balans svi ulaznih parametara (r^2 , RMSE, korelacija) dok model s 48 neurona pokazuje puno lošije rezultate ($r^2 = 0,024$, RMSE = 0,47), što ukazuje na da mreža pamti podatke, ali ne ih generalizira.

Neural learning								
Learning progress			Best net statistics			Importance of inputs		
Number of hidden neurons trained: 48			R-squared	0,872914		0,917	Humus Hrv	
Optimal number of hidden neurons: 47			Avg.error	0,129424		0,083	pHKCl	
			Correlation	0,934307				
			MSE	0,029022				
			RMSE	0,170359				
			% in range	100,0%				
			% same sign	100,0%				
Neuron	R-squared	Avg. error	Correlation	MSE	RMSE	% in-range	% same sign	
44	0,861614	0,135237	0,92842	0,031603	0,177771	100,0%	100,0%	
45	0,872897	0,128684	0,934302	0,029026	0,17037	100,0%	100,0%	
46	0,806817	0,162672	0,900409	0,044116	0,210039	100,0%	100,0%	
47	0,872914	0,129424	0,934307	0,029022	0,170359	100,0%	100,0%	
48	0,024721	0,361306	0,66166	0,22272	0,471932	100,0%	98,4%	

Slika 2. NN model za lokalitet Đakovo (Izvor: Neuroshell Predictor software)

Tablica 27. Osnovi statistički pokazatelji NN za lokalitet Đakovo

Statistika regresije	
r^2	0,862747
SE	0,133692
r	0,929231
MSE (srednja kvadratna pogreška)	0,031344
RMSE (korijen srednje kvadratne pogreške)	0,177042

Općenito, možemo reći da je model NN za lokalite Đakovo vrlo stabilan s 100 % ispravnom predikcijom smjera i rasponom vrijednosti.

3.5.2. Neuronske mreže na lokalitetu Ivankovo

Primjena NN na lokalitetu Ivankovo (Slika 3) pokazala je nešto drugačiju vrijednost ulaznih parametara iako je koeficijent korelacije bio isti kao i kod regresijskih modela $r=0,82$. Naime, analiza relativne važnosti ulaznih varijabli pokazuje da sadržaj organske tvari doprinosi s 52,5 % (0,525), dok pH vrijednost tla sudjeluje s 47,5 % (0,475) u oblikovanju izlazne varijable. Ova raspodjela ukazuje na gotovo ravnomjeran utjecaj obje varijable na rad mreže, čime se potvrđuje značaj pH tla kao dodatnog prediktora u modelima za procjenu organske tvari.

Neural learning							
Learning progress			Best net statistics			Importance of inputs	
Number of hidden neurons trained: 40			R-squared	0,675489		0,525	Humus Hrv
Optimal number of hidden neurons: 27			Avg.error	0,201021		0,475	pH
			Correlation	0,821883			
			MSE	0,062826			
			RMSE	0,250651			
			% in range	100,0%			
			% same sign	100,0%			
Neuron	R-squared	Avg. error	Correlation	MSE	RMSE	% in-range	% same sign
27	0,675489	0,201021	0,821883	0,062826	0,250651	100,0%	100,0%
28	0,668154	0,206204	0,81742	0,064246	0,253468	100,0%	100,0%
29	0,672966	0,203835	0,820348	0,063315	0,251624	100,0%	100,0%
30	0,673262	0,203114	0,820526	0,063257	0,25151	100,0%	100,0%
31	0,673159	0,203144	0,820463	0,063277	0,251549	100,0%	100,0%
32	0,670472	0,204172	0,818835	0,063797	0,252581	100,0%	100,0%

Slika 3. NN model za lokalitet Ivankovo (Izvor: Neuroshell Predictor software)

Općenito možemo reći da je model na lokalitetu Ivankovo pokazuje solidne performanse u pogledu konzistentnosti predviđanja, njegovi rezultati ukazuju na nižu prediktivnu vrijednost u odnosu na neuronske modele na lokalitetu Đakovo. U ovom slučaju najbolji je bio model s 27 neurona gdje mreža dosljedno predviđa smjer promjene ciljne varijable u odnosu na ulazne

podatke. Time se potvrđuje važnost selekcije adekvatnih ulaznih varijabli u optimizaciji modela temeljenih na umjetnoj inteligenciji za potrebe agrokemijskih analiza.

Tablica 28. Osnovi statistički pokazatelji NN za lokalitet Ivankovo

<i>Statistika regresije</i>	
r^2	0,664946
SE	0,207889
r	0,815461
MSE (srednja kvadratna pogreška)	0,064867
RMSE (korijen srednje kvadratne pogreške)	0,25469

3.6. Izračun sekvestracije ugljika i emisija CO₂ na lokalitetima Đakovo i Ivankovo

Tijekom petogodišnjeg razdoblja provedena su sustavna mjerenja sekvestracije ugljika i emisija CO₂ na dva lokaliteta – Đakovo i Ivankovo. Cilj istraživanja bio je praćenje promjena u dinamici ugljika u tlu.

3.6.1. Početne vrijednosti sadržaja organske tvari i organskog ugljika na lokalitetima Đakovo i Ivankovo

Početno stanje tla u različitim sustavima poljoprivredne proizvodnje na lokacijama Đakovo i Ivankovo analizirano je 2017. godine s obzirom na sadržaj organske tvari i organskog ugljika (utvrđenog na TOC analizatoru), pri čemu su uspoređeni uzorci iz tretmana s orasima i kontrolnih površina na dvjema dubinama: 0–30 cm i 30–60 cm, a navedeni podaci su prikazani u Tablici 29. U Đakovu, u tretmanu s orasima, površinski sloj tla (0–30 cm) sadržavao je 1,76 % organske tvari i 1,02 % organskog ugljika. Ovi pokazatelji upućuju na zadovoljavajuću količinu organske tvari u tlu, osobito u površinskom sloju gdje se odvija većina bioloških procesa. Međutim, na većoj dubini (30–60 cm), došlo je do osjetnog smanjenja navedenih vrijednosti – sadržaj organske tvari smanjen je na 1,28 %, a organskog ugljika na 0,74 %. Usporedbom s kontrolnim uzorcima na lokalitetu Đakovo, vidljivo je da je sadržaj organske tvari i organskog ugljika na dubini 0–30 cm bio jednak onome iz tretmana s orasima – 1,76 % organske tvari i 1,02 % organskog ugljika. Međutim, na dubini od 30–60 cm, kontrola je pokazala nešto više vrijednosti: organska tvar 1,41 % i organski ugljik 0,82 %. Prosječne vrijednosti kontrolnih uzoraka na lokalitetu Đakovo pokazali su viši ukupni sadržaj organske

tvori (1,59 %) i organskog ugljika (0,92 %) u odnosu na tretman s orasima (1,52 % organske tvori i 0,88 % organskog ugljika). Slični trendovi uočeni su i na lokaciji Ivankovo. U tretmanu s orasima, površinski sloj tla (0–30 cm) sadržavao je 1,72 % organske tvori i 1,00 % organskog ugljika, dok su vrijednosti u dubljem sloju (30–60 cm) iznosile 1,34 % organske tvori i 0,78 % organskog ugljika. Kontrolni uzorci u Ivankovu pokazali su najviše vrijednosti od svih analiziranih uzoraka: u sloju 0–30 cm organska tvar je iznosio 1,90 %, a organski ugljik 1,11 %, dok su i na dubini 30–60 cm vrijednosti bile vrlo visoke – 1,79 % organske tvori i 1,04 % organskog ugljika. Ukupno gledano, kontrola u Ivankovu imala je najviši prosječan sadržaj organske tvori – 1,85 % organske tvori i 1,08 % organskog ugljika, dok je tretman s orasima imao niže vrijednosti (1,53 % organske tvori i 0,89 % organskog ugljika). Usporedba svih podataka ukazuje na jasan obrazac: kontrolni uzorci sadržavali su više organske tvori i organskog ugljika. Općenito, rezultati analize početnog stanja tla sugerirali su da uvođenjem oraha u sustav poljoprivredne proizvodnje može dovesti do smanjenja sadržaja organske tvori, osobito u dubljim slojevima tla.

Tablica 29. Početni sadržaj organske tvori i organskog ugljika na oba lokaliteta

Redni broj	Lokacija	Tretman	Dubina	Organska tvar (%)	Org. ugljik (%)
1	Đakovo	Voćnjak (orasi)	0-30	1,76	1,02
2	Đakovo	Voćnjak (orasi)	30-60	1,28	0,74
3	Đakovo	Kontrola	0-30	1,76	1,02
4	Đakovo	kontrola	30-60	1,41	0,82
	ProsjeK KONTROLA			1,55	0,92
	ProsjeK VOĆNJAK (ORASI)			1,52	0,88
5	Ivankovo	Orasi	0-30	1,72	1,00
6	Ivankovo	Orasi	30-60	1,34	0,78
7	Ivankovo	Kontrola	0-30	1,90	1,11

Rezultati istraživanja					
8	Ivankovo	kontrola	30-60	1,79	1,04
	ProsjeK KONTROLA			1,85	1,08
	ProsjeK ORASI			1,53	0,89

3.6.2. Pregled sekvestracije ugljika te emisija CO₂ na lokalitetu Đakovo

Sekvestracija ugljika u tlu praćena je tijekom petogodišnjeg razdoblja s ciljem procjene dugoročnih promjena u zalihama organskog ugljika. U tom je razdoblju provedeno ukupno 11 uzorkovanja tla: po jedno u 2018., 2019. i 2020. godini, pet uzorkovanja tijekom 2021. godine te tri uzorkovanja u 2022. godini. Analize su omogućile uvid u varijabilnost zadržavanja ugljika u tlu.

3.6.2.1. Uzorkovanje tla u 2018. godini

Analiza rezultata (Tablica 30) o sadržaju organske tvari (organske tvari) i organskog ugljika u različitim sustavima poljoprivredne proizvodnje pokazala je jasne razlike između površinskog sloja tla (0–30 cm) i dubljeg sloja (30–60 cm). Prosječne vrijednosti u sloju 0–30 cm iznosile su 2,00 % za organsku tvar i 1,16 % za organski ugljik, dok su u dubljem sloju te vrijednosti bile značajno niže – 1,12 % organske tvari i 0,65 % organskog ugljika. Ukupni prosjek svih uzoraka iznosio je 1,56 % za organsku tvar i 0,91 % za organski ugljik, što ukazuje na srednje do dobre početne uvjete tla za održivu poljoprivrednu proizvodnju. Usporedba podataka za kontrolni tretman između 2018. i 2019. godine pokazala je vrlo male promjene u sadržaju organske tvari i organskog ugljika u tlu:

- Organska tvar smanjila se s 1,59 % (2018.) na 1,57 % (2019.), što predstavlja pad od 0,02 %.
- Organski ugljik također je zabilježio vrlo blago smanjenje – s 0,92 % u 2018. na 0,91 % u 2019. godini.

Ove razlike bile su minimalne i unutar granica prirodne varijabilnosti tla, što znači da nije došlo do značajnog gubitka organske tvari u razdoblju od godinu dana.

Usporedba podataka za voćnjak između 2018. i 2019. godine pokazao je blago poboljšanje kvalitete tla u pogledu organske tvari i organskog ugljika:

- Organska tvar porasla je s 1,52 % u 2018. na 1,58 % u 2019. godini, što predstavlja povećanje od 0,06 %.
- Organski ugljik također je zabilježio porast – s 0,88 % na 0,92 %.

Ovi rezultati ukazali su pozitivan trend u akumulaciji organske tvari u tlu. Usporedba podataka o sadržaju organske tvari i organskog ugljika između 2018. i 2019. godine za konsocijacijski sustav nije bila moguća jer je taj sustav uspostavljen nakon uzimanja početnih uzoraka tla.

Tablica 30. Prikaz stanja organske tvari i organskog ugljika na različitim dubinama na lokalitetu Đakovo, 2018. godine

Redni broj	Broj uzorka	Sustav	Dubina	Organska tvar	Organski ugljik
1	1	Konsocijacija	0-30	1,59	0,92
2			30-60	1,34	0,78
3	2	Konsocijacija	0-30	1,95	1,13
4			30-60	1,00	0,58
5	3	Konsocijacija	0-30	1,55	0,90
6			30-60	1,07	0,62
7	4	Konsocijacija	0-30	1,62	0,94
8			30-60	1,10	0,64
9	5	Konsocijacija	0-30	2,24	1,30
10			30-60	1,31	0,76
11	6	Konsocijacija	0-30	2,24	1,30
12			30-60	1,00	0,58
13	7	Konsocijacija	0-30	2,24	1,30
14			30-60	1,03	0,60
15	8	Konsocijacija	0-30	2,17	1,26
16			30-60	1,07	0,62

Rezultati istraživanja					
17	9	Konsocijacija	0-30	2,28	1,33
18			30-60	0,97	0,56
Prosjek konsocijacija			0-30	1,99	1,15
			30-60	1,10	0,64
			Prosjek za obje dubine	1,55	0,90
19	10	Voćnjak (orasi)	0-30	1,86	1,08
20			30-60	1,00	0,58
21	11	Voćnjak (orasi)	0-30	2,14	1,24
22			30-60	0,93	0,54
23	12	Voćnjak (orasi)	0-30	2,76	1,61
24			30-60	0,90	0,52
25	13	Voćnjak (orasi)	0-30	1,83	1,06
26			30-60	1,17	0,68
27	14	Voćnjak (orasi)	0-30	1,79	1,04
28			30-60	1,21	0,70
29	15	Voćnjak (orasi)	0-30	2,21	1,29
30			30-60	1,10	0,64
31	16	Voćnjak (orasi)	0-30	1,79	1,04
32			30-60	1,38	0,80
Prosjek voćnjak (orasi)			0-30	2,05	1,19
			30-60	1,10	0,64
			Prosjek za obje dubine	1,58	0,92
33	17	Kontrola	0-30	2,07	1,20
34			30-60	1,34	0,78
35	18	Kontrola	0-30	1,83	1,06

Rezultati istraživanja					
36			30-60	1,14	0,66
37	19	Kontrola	0-30	1,93	1,12
38			30-60	1,14	0,66
39	20	Kontrola	0-30	1,90	1,10
40			30-60	1,17	0,68
Prosjek kontrola			0-30	1,93	1,12
			30-60	1,20	0,70
			Prosjek za obje dubine	1,57	0,91

3.6.2.2. Uzorkovanje tla u 2019. godini

Usporedba rezultata iz 2019. godine (prikazano u Tablici 31) ukazala je da je najveći sadržaj organske tvari i organskog ugljika zabilježen u voćnjaku, gdje je organska tvar iznosila 2,17 %, a organski ugljik 1,24 %. Konsocijacijski sustav slijedio je s nešto nižim vrijednostima – 2,08 % organske tvari i 1,21 % organskog ugljika. Najniže vrijednosti su zabilježene na kontrolnim površinama, gdje je organska tvar iznosila 1,62 %, a organski ugljik 0,94 %.

Usporedba rezultata mjerenja sadržaja organske tvari i organskog ugljika u tlu iz 2018. i 2019. godine za tri poljoprivredna sustava – konsocijaciju, voćnjak i kontrolu – pokazala je različite trendove u promjenama kvalitete tla. U konsocijacijskom sustavu došlo je do značajnog smanjenja organske tvari s 3,09 % u 2018. na 2,08 % u 2019. godini, što predstavlja pad od 1,01 %. Sličan trend zabilježen je i kod organskog ugljika, koji je smanjen s 1,79 % na 1,21 %, odnosno za 0,58 %. Suprotno tome, u voćnjaku je zabilježen znatan porast. Organska tvar porasla je s 1,58 % u 2018. na 2,17 % u 2019. godini, što je povećanje od 0,59 %. Organski ugljik također je porastao, i to s 0,92 % na 1,24 %, odnosno za 0,32 %. Na kontrolnim površinama zabilježene su najmanje promjene. Organska tvar blago je porasla s 1,57 % na 1,62 %, dok je organski ugljik porastao s 0,91 % na 0,94 %, što pokazuje relativnu stabilnost tla u uvjetima bez većih agrotehničkih zahvata.

Tablica 31. Prikaz stanja organske tvari i organskog ugljika na različitim dubinama na lokalitetu Đakovo, 2019. godine

Redni broj	Broj uzorka	Sustav	Dubina	Organska tvar	Organski ugljik
1	1	Kontrola	0-30	1,83	1,06
2			30-60	1,72	1,00
3	2	Kontrola	0-30	1,69	0,98
4			30-60	1,59	0,92
5	3	Kontrola	0-30	1,97	1,15
6			30-60	1,72	1,00
7	4	Kontrola	0-30	1,52	0,88
8			30-60	1,52	0,88
9	5	Kontrola	0-30	1,62	0,94
10			30-60	1,62	0,94
11	6	Kontrola	0-30	1,69	0,98
12			30-60	1,45	0,84
13	7	Kontrola	0-30	1,66	0,97
14			30-60	1,38	0,80
15	8	Kontrola	0-30	1,59	0,92
16			30-60	1,62	0,94
17	9	Kontrola	0-30	1,72	1,00
18			30-60	1,72	1,00
19	10	Kontrola	0-30	1,59	0,92
20			30-60	1,38	0,80
21	11	Kontrola	0-30	1,83	1,06
22			30-60	1,72	1,00

Rezultati istraživanja					
23	12	Kontrola	0-30	1,79	1,04
24			30-60	1,52	0,88
25	13	Kontrola	0-30	1,48	0,86
26			30-60	1,69	0,98
27	14	Kontrola	0-30	1,62	0,94
28			30-60	1,48	0,86
29	15	Kontrola	0-30	1,52	0,88
30			30-60	1,17	0,68
31	16	Kontrola	0-30	1,66	0,97
32			30-60	1,72	1,00
Prosjek kontrola			0-30	1,67	0,97
			30-60	1,56	0,91
			Prosjek za obje dubine	1,62	0,94
33	17	Konsocijacija	0-30	2,65	1,54
34			30-60	2,28	1,33
35	18	Konsocijacija	0-30	1,9	1,11
36			30-60	1,52	0,88
37	19	Konsocijacija	0-30	2,48	1,44
38			30-60	2,00	1,16
39	20	Konsocijacija	0-30	2,28	1,33
40			30-60	1,83	1,06
41	21	Konsocijacija	0-30	2,65	1,54
42			30-60	2,28	1,33
43	22	Konsocijacija	0-30	2,03	1,18
44			30-60	1,52	0,88
45	23	Konsocijacija	0-30	2,14	1,24

Rezultati istraživanja					
46			30-60	2,14	1,24
47	24	Konsocijacija	0-30	1,90	1,11
48			30-60	1,69	0,98
Prosjek konsocijacija			0-30	2,25	1,31
			30-60	1,91	1,11
			Prosjek za obje dubine	2,08	1,21
49	25	Voćnjak (orasi)	0-30	2,38	1,38
50			30-60	2,07	1,20
51	26	Voćnjak (orasi)	0-30	2,34	1,36
52			30-60	1,79	1,04
53	27	Voćnjak (orasi)	0-30	2,17	1,26
54			30-60	1,93	0,89
55	28	Voćnjak (orasi)	0-30	2,45	1,42
56			30-60	2,03	1,18
57	29	Voćnjak (orasi)	0-30	2,38	1,38
58			30-60	1,97	1,15
59	30	Voćnjak (orasi)	0-30	2,38	1,38
60			30-60	1,83	1,06
61	31	Voćnjak (orasi)	0-30	2,79	1,62
62			30-60	1,97	1,15
63	32	Voćnjak (orasi)	0-30	2,41	1,40
64			30-60	1,79	1,04
Prosjek voćnjak (orasi)			0-30	2,41	1,40
			30-60	1,92	1,09
			Prosjek za obje dubine	2,17	1,24

3.6.2.3. Uzorkovanje tla u 2020. godini

U 2020. godini, najniži sadržaj organske tvari i organskog ugljika zabilježen je u kontrolnom sustavu: u prosjeku za obje dubine 1,54 % organske tvari i 0,89 % organskog ugljika, kao što je vidljivo na Tablici 32. Konsocijacijski sustav imao je viši sadržaj – 2,13 % organske tvari i 1,24 % ugljika, dok je voćnjak (orasi) pokazao slične vrijednosti: 2,14 % organske tvari i 1,24 % ugljika. Dobiveni rezultati ukazali su na značajno povećanje količine organske tvari i ugljika u tlu u sustavu konsocijacije i voćnjaka u odnosu na kontrolu, posebno u gornjem sloju tla (0–30 cm), gdje su vrijednosti bile najviše. Navedeni rezultati prikazani su u Tablici 36.

Usporedbom rezultata iz 2019. i 2020. vidljivo je da je kontrolni uzgojni sustav imao blago smanjenje organske tvari (s 1,62 % na 1,54 %) i ugljika (s 0,94 % na 0,89 %). Konsocijacija je također pokazala blagi pad – organska tvar s 2,08 % na 2,13 %, ali blagi porast ugljika s 1,21 % na 1,24 %. Voćnjak s orasima pokazao je gotovo stabilne vrijednosti – organska tvar je neznatno pala s 2,17 % na 2,14 %, dok je sadržaj ugljika ostao nepromijenjen na 1,24 %.

Tablica 32. Prikaz stanja organske tvari i organskog ugljika na različitim dubinama na lokalitetu Đakovo, 2020. godine

Redni broj	Broj uzorka	Sustav	Dubina	Organska tvar	Organski ugljik
1	1	Kontrola	0-30	1,72	1,00
2			30-60	1,31	0,76
3	2	Kontrola	0-30	1,76	1,02
4			30-60	1,21	0,70
5	3	Kontrola	0-30	1,72	1,00
6			30-60	1,38	0,80
7	4	Kontrola	0-30	1,79	1,04
8			30-60	1,28	0,74
9	5	Kontrola	0-30	1,83	1,06
10			30-60	1,52	0,88
11	6	Kontrola	0-30	1,59	0,92

Rezultati istraživanja					
12			30-60	1,41	0,82
13	7	Kontrola	0-30	1,55	0,90
14			30-60	1,48	0,86
15	8	Kontrola	0-30	1,59	0,92
16			30-60	1,52	0,88
Prosjek kontrola			0-30	1,69	0,98
			30-60	1,39	0,81
			Prosjek za obje dubine	1,54	0,89
17	9	Konsocijacija	0-30	2,34	1,36
18			30-60	1,66	0,97
19	10	Konsocijacija	0-30	1,97	1,15
20			30-60	1,72	1,00
21	11	Konsocijacija	0-30	3,03	1,76
22			30-60	1,69	0,98
23	12	Konsocijacija	0-30	2,41	1,40
24			30-60	1,69	0,98
25	13	Konsocijacija	0-30	4,65	2,70
26			30-60	2,41	1,40
27	14	Konsocijacija	0-30	1,90	1,11
28			30-60	1,45	0,84
29	15	Konsocijacija	0-30	1,79	1,04
30			30-60	1,59	0,92
31	16	Konsocijacija	0-30	1,90	1,11
32			30-60	1,83	1,06
Prosjek konsocijacija			0-30	2,50	1,45
			30-60	1,76	1,02

			Prosjek za obje dubine	2,13	1,24
33	17	Voćnjak (orasi)	0-30	2,03	1,18
34			30-60	1,21	0,70
35	18	Voćnjak (orasi)	0-30	1,97	1,15
36			30-60	2,00	1,16
37	19	Voćnjak (orasi)	0-30	2,65	1,54
38			30-60	1,90	1,11
39	20	Voćnjak (orasi)	0-30	2,52	1,47
40			30-60	2,03	1,18
41	21	Voćnjak (orasi)	0-30	2,59	1,51
42			30-60	2,03	1,18
43	22	Voćnjak (orasi)	0-30	2,72	1,58
44			30-60	1,79	1,04
45	23	Voćnjak (orasi)	0-30	3,31	1,92
46			30-60	2,48	1,44
47	24	Voćnjak (orasi)	0-30	2,41	1,40
48			30-60	1,62	0,94
Prosjek voćnjak (orasi)			0-30	2,53	1,45
			30-60	1,76	1,02
			Prosjek za obje dubine	2,14	1,24

3.6.2.4. Uzorkovanja tla u 2021. godini

Tijekom 2021. godine na lokalitetu u Đakovu provedeno je ukupno pet uzorkovanja tla kako bi se pratila dinamika promjena u sadržaju organske tvari i organskog ugljika pod različitim uzgojnim sustavima. Uzorkovanja su obavljena tijekom vegetacijske sezone, na dvije dubine tla (0–30 cm i 30–60 cm), a rezultati svakog uzorkovanja prikazani su u Tablicama 33–37.

U 2021. godini, kontrolni sustav imao je najniži prosječni sadržaj organske tvari (1,57 %) i organskog ugljika (0,91 %). Konsocijacija je imala najviši sadržaj, s prosječno 1,89 % organske tvari i 1,06 % ugljika, dok je voćnjak (orasi) pokazao vrlo slične vrijednosti – 1,80 % organske tvari i 1,04 % ugljika. Najveće razlike među sustavima uočene su u površinskom sloju tla (0–30 cm), gdje konsocijacija i voćnjak značajno nadmašuju kontrolu. Navedeni podaci nalaze se u Tablici 33.

Usporedbom rezultata iz 2020. i 2021. godine (prvo mjerenje) uočava se kako je u kontrolnom sustavu zabilježen blagi porast sadržaja organske tvari (s 1,54 % na 1,57 %) i organskog ugljika (s 0,89 % na 0,91 %). Nasuprot tome, konsocijacija je zabilježila pad organske tvari (s 2,13 % na 1,89 %) i ugljika (s 1,24 % na 1,06 %), a isto vrijedi i za voćnjak, gdje su vrijednosti pale s 2,14 % na 1,80 % za organsku tvar i s 1,24 % na 1,04 % za ugljik.

Tablica 33. Prikaz stanja organske tvari i organskog ugljika na različitim dubinama na lokalitetu Đakovo, tijekom prvog uzorkovanja 2021. godine

Redni broj	Broj uzorka	Sustav	Dubina	Organska tvar	Organski ugljik
1	1	Kontrola	0-30	1,72	1,00
2			30-60	1,24	0,72
3	2	Kontrola	0-30	1,76	1,02
4			30-60	1,55	0,90
5	3	Kontrola	0-30	1,79	1,04
6			30-60	1,48	0,86
7	4	Kontrola	0-30	1,72	1,00
8			30-60	1,21	0,70
9	5	Kontrola	0-30	1,69	0,98
10			30-60	1,86	1,08
11	6	Kontrola	0-30	2,00	1,16

Rezultati istraživanja					
12			30-60	1,17	0,68
13	7	Kontrola	0-30	1,55	0,90
14			30-60	1,66	0,97
15	8	Kontrola	0-30	1,66	0,97
16			30-60	1,10	0,64
Prosjek kontrola			0-30	1,74	1,01
			30-60	1,41	0,82
			Prosjek za obje dubine	1,57	0,91
17	9	Konsocijacija	0-30	2,38	1,38
18			30-60	1,90	1,11
19	10	Konsocijacija	0-30	2,24	1,30
20			30-60	1,93	0,89
21	11	Konsocijacija	0-30	2,28	1,33
22			30-60	1,93	0,89
23	12	Konsocijacija	0-30	1,93	0,89
24			30-60	1,90	1,11
25	13	Konsocijacija	0-30	2,41	1,40
26			30-60	1,62	0,94
27	14	Konsocijacija	0-30	1,72	1,00
28			30-60	1,17	0,68
29	15	Konsocijacija	0-30	2,45	1,42
30			30-60	1,59	0,92
31	16	Konsocijacija	0-30	1,86	1,08
32			30-60	0,93	0,54
Prosjek konsocijacija			0-30	2,16	1,23
			30-60	1,62	0,89
			Prosjek za obje dubine	1,89	1,06

Rezultati istraživanja					
33	17	Voćnjak (orasi)	0-30	2,55	1,48
34			30-60	1,48	0,86
35	18	Voćnjak (orasi)	0-30	2,03	1,18
36			30-60	1,21	0,70
37	19	Voćnjak (orasi)	0-30	2,55	1,48
38			30-60	1,59	0,92
39	20	Voćnjak (orasi)	0-30	2,10	1,22
40			30-60	1,14	0,66
41	21	Voćnjak (orasi)	0-30	2,65	1,54
42			30-60	1,45	0,84
43	22	Voćnjak (orasi)	0-30	2,21	1,29
44			30-60	1,07	0,62
45	23	Voćnjak (orasi)	0-30	2,55	1,48
46			30-60	1,31	0,76
47	24	Voćnjak (orasi)	0-30	1,76	1,02
48			30-60	1,07	0,62
Prosjek voćnjak (orasi)			0-30	2,16	1,23
			30-60	1,62	0,89
			Prosjek za obje dubine	1,80	1,04

Prema prikazanim rezultatima, najniži sadržaj organske tvari i organskog ugljika zabilježen je u kontrolnom uzgojnom sustavu, s prosječnim vrijednostima za obje dubine od 1,44 % organske tvari i 0,83 % ugljika. Konsocijacijski sustav pokazali su najviše vrijednosti: 1,85 % organske tvari i 1,07 % ugljika, dok su vrijednosti u voćnjaku (orasi) bile nešto niže, s 1,76 % organske tvari i 1,02 % ugljika. Razlike su bile najuočljivije u površinskom sloju tla (0–30 cm), gdje su vrijednosti u konsocijaciji (2,10 % OT, 1,22 % C) i voćnjaku (2,07 % OT, 1,20 % C) značajno nadmašile kontrolu (1,63 % OT, 0,95 % C). Navedeni podaci nalaze se u Tablici 37.

Analiza rezultata iz prvog i drugog mjerenja tijekom 2021. godine pokazala je blagi pad sadržaja organske tvari i organskog ugljika u tlu u sva tri uzgojna sustava. U kontrolnom sustavu sadržaj organske tvari smanjio se s 1,57 % na 1,44 %, dok je sadržaj organskog ugljika pao s 0,91 % na 0,83 %. Najveći pad zabilježen je u dubljem sloju tla (30–60 cm), gdje se organska tvar smanjila s 1,41 % na 1,24 %, a ugljik s 0,82 % na 0,72 %. U sustavu konsocijacije sadržaj organske tvari blago je pao s 1,89 % na 1,85 %, dok je sadržaj organskog ugljika minimalno porastao s 1,06 % na 1,07 %. Površinski je sloj (0–30 cm) također pokazao lagani pad organske tvari (s 2,16 % na 2,10 %) i ugljika (s 1,23 % na 1,22 %). U voćnjaku s orasima, sadržaj organske tvari smanjio se s 1,80 % na 1,76 %, dok je sadržaj ugljika pao s 1,04 % na 1,02 %. Najizraženiji pad u ovom sustavu također je zabilježen u dubljem sloju tla, gdje se organska tvar smanjila s 1,62 % na 1,44 %, a ugljik s 0,89 % na 0,84 %. U razdoblju između dva mjerenja tijekom 2021. godine zabilježen je blagi opadajući trend u sadržaju organske tvari i ugljika u tlu, osobito u sloju 30–60 cm.

Tablica 34. Prikaz stanja organske tvari i organskog ugljika na različitim dubinama na lokalitetu Đakovo, tijekom drugog uzorkovanja 2021. godine

Redni broj	Broj uzorka	Sustav	Dubina	Organska tvar	Organski ugljik
1	1	Kontrola	0-30	1,83	1,06
2			30-60	1,07	0,62
3	2	Kontrola	0-30	1,66	0,97
4			30-60	0,93	0,54
5	3	Kontrola	0-30	1,34	0,78
6			30-60	1,28	0,74
7	4	Kontrola	0-30	1,79	1,04
8			30-60	1,38	0,80
9	5	Kontrola	0-30	1,69	0,98
10			30-60	1,34	0,78
11	6	Kontrola	0-30	1,69	0,98

Rezultati istraživanja					
12			30-60	1,31	0,76
13	7	Kontrola	0-30	1,66	0,97
14			30-60	1,17	0,68
15	8	Kontrola	0-30	1,38	0,80
16			30-60	1,45	0,84
Prosjek kontrola			0-30	1,63	0,95
			30-60	1,24	0,72
			Prosjek za obje dubine	1,44	0,83
17	9	Konsocijacija	0-30	2,17	1,26
18			30-60	1,34	0,78
19	10	Konsocijacija	0-30	2,14	1,24
20			30-60	2,21	1,29
21	11	Konsocijacija	0-30	1,83	1,06
22			30-60	1,38	0,80
23	12	Konsocijacija	0-30	2,21	1,29
24			30-60	1,90	1,11
25	13	Konsocijacija	0-30	2,76	1,61
26			30-60	1,34	0,78
27	14	Konsocijacija	0-30	2,17	1,26
28			30-60	1,65	0,96
29	15	Konsocijacija	0-30	1,34	0,78
30			30-60	0,97	0,56
31	16	Konsocijacija	0-30	2,14	1,24
32			30-60	1,97	1,15
Prosjek konsocijacija			0-30	2,10	1,22
			30-60	1,60	0,93
			Prosjek za obje dubine	1,85	1,07

Rezultati istraživanja					
33	17	Voćnjak (orasi)	0-30	2,10	1,22
34			30-60	1,48	0,86
35	18	Voćnjak (orasi)	0-30	2,10	1,22
36			30-60	1,48	0,86
37	19	Voćnjak (orasi)	0-30	2,24	1,30
38			30-60	1,52	0,88
39	20	Voćnjak (orasi)	0-30	1,90	1,11
40			30-60	1,34	0,78
41	21	Voćnjak (orasi)	0-30	2,24	1,30
42			30-60	1,62	0,94
43	22	Voćnjak (orasi)	0-30	1,97	1,15
44			30-60	1,62	0,94
45	23	Voćnjak (orasi)	0-30	2,28	1,33
46			30-60	1,28	0,74
47	24	Voćnjak (orasi)	0-30	1,72	1,00
48			30-60	1,21	0,70
Prosjek voćnjak (orasi)			0-30	2,07	1,20
			30-60	1,44	0,84
			Prosjek za obje dubine	1,76	1,02

Usporedba sadržaja organske tvari i organskog ugljika u tri različita uzgojna sustava pokazala je određene razlike koje ovise o tipu uzgoja i dubini tla. U kontrolnom uzgojnom sustavu, prosječni sadržaj organske tvari iznosio je 1,74 %, a organskog ugljika 1,01 %, što je relativno ujednačeno kroz oba sloja tla (0–30 cm i 30–60 cm), uz minimalnu razliku između dubina. S druge strane, konsocijacijski sustav bilježio je najveće vrijednosti s prosjekom od 1,85 % organske tvari i 1,07 % ugljika, pri čemu su veće koncentracije bile prisutne u površinskom sloju tla (0–30 cm), a niže u dubljem sloju. Voćnjak s orasima imao je nešto niže vrijednosti od konsocijacije, s ukupno 1,75 % organske tvari i 0,99 % organskog ugljika, što je usporedivo s kontrolom po ukupnom prosjeku, ali je izraženija razlika između slojeva (Tablica 35).

Usporedba podataka iz drugog i trećeg mjerenja u 2021. godini pokazao je promjene u sadržaju organske tvari i organskog ugljika u sva tri uzgojna sustava. U kontrolnom sustavu zabilježen je primjetan porast, gdje je sadržaj organske tvari porastao s 1,44 % na 1,74 %, a sadržaj organskog ugljika s 0,83 % na 1,01 %. Taj porast osobito je bio izražen u dubljem sloju tla (30–60 cm), gdje je organska tvar porasla s 1,24 % na 1,75 %, a ugljik s 0,72 % na 1,02 %. U sustavu konsocijacije ukupne vrijednosti ostale su gotovo nepromijenjene, s 1,85 % organske tvari i 1,07 % ugljika u oba mjerenja.

Ipak, u površinskom sloju zabilježen je mali pad organske tvari s 2,10 % na 2,07 % i ugljika s 1,22 % na 1,20 %, dok su vrijednosti u dubljem sloju neznatno porasle. Voćnjak s orasima pokazao je blagi pad ukupne organske tvari s 1,76 % na 1,75 % i organskog ugljika s 1,02 % na 0,99 %, što je rezultat smanjenja vrijednosti u oba sloja tla, iako su te razlike vrlo male.

Tablica 35. Prikaz stanja organske tvari i organskog ugljika na različitim dubinama na lokalitetu Đakovo, tijekom trećeg uzorkovanja 2021. godine

Redni broj	Broj uzorka	Sustav	Dubina	Organska tvar	Organski ugljik
1	1	Kontrola	0-30	1,79	1,04
2			30-60	1,79	1,04
3	2	Kontrola	0-30	1,31	0,76
4			30-60	1,83	1,06
5	3	Kontrola	0-30	1,79	1,04
6			30-60	1,69	0,98
7	4	Kontrola	0-30	1,69	0,98
8			30-60	1,34	0,78
9	5	Kontrola	0-30	2,03	1,18
10			30-60	2,00	1,16
11	6	Kontrola	0-30	1,52	0,88
12			30-60	1,69	0,98

Rezultati istraživanja					
13	7	Kontrola	0-30	1,97	1,15
14			30-60	1,79	1,04
15	8	Kontrola	0-30	1,66	0,97
16			30-60	1,90	1,11
Prosjek kontrola			0-30	1,72	1,00
			30-60	1,75	1,02
			Prosjek za obje dubine	1,74	1,01
17	9	Konsocijacija	0-30	1,31	0,76
18			30-60	1,62	0,94
19	10	Konsocijacija	0-30	2,17	1,26
20			30-60	1,59	0,92
21	11	Konsocijacija	0-30	2,48	1,44
22			30-60	1,66	0,97
23	12	Konsocijacija	0-30	2,07	1,20
24			30-60	1,38	0,80
25	13	Konsocijacija	0-30	2,48	1,44
26			30-60	2,14	1,24
27	14	Konsocijacija	0-30	2,03	1,18
28			30-60	1,31	0,76
29	15	Konsocijacija	0-30	2,21	1,29
30			30-60	1,59	0,92
31	16	Konsocijacija	0-30	1,79	1,04
32			30-60	1,69	0,98
Prosjek konsocijacija			0-30	2,07	1,20
			30-60	1,62	0,94
			Prosjek za obje dubine	1,85	1,07
33	17	Voćnjak	0-30	2,00	1,16

Rezultati istraživanja					
34		(orasi)	30-60	1,41	0,82
35	18	Voćnjak (orasi)	0-30	1,93	0,89
36			30-60	1,48	0,86
37	19	Voćnjak (orasi)	0-30	2,00	1,16
38			30-60	1,59	0,92
39	20	Voćnjak (orasi)	0-30	2,10	1,22
40			30-60	1,52	0,88
Prosjek voćnjak (orasi)			0-30	2,01	1,11
			30-60	1,50	0,87
			Prosjek za obje dubine	1,75	0,99

Usporedba sadržaja organske tvari i organskog ugljika u tri različita uzgojna sustava (Tablica 36) pokazala je jasne razlike u kvaliteti tla između sustava. Najniže vrijednosti zabilježene su u kontrolnom sustavu, gdje je ukupni prosjek organske tvari iznosio 1,80 %, a organskog ugljika 1,02 %. Ove vrijednosti su bile relativno uravnotežene između površinskog (0–30 cm) i dubljeg sloja tla (30–60 cm). Sustav konsocijacije pokazao je znatno veće vrijednosti, s ukupno 2,19 % organske tvari i 1,27 % ugljika, pri čemu su oba sloja tla bila bogatija organskom tvari u odnosu na kontrolu. Površinski sloj posebno se isticao s 2,40 % OT i 1,39 % C. Najpovoljniji rezultati zabilježeni su u voćnjaku, u kojem je ukupni sadržaj organske tvari iznosio 2,43 %, a organskog ugljika 1,41 %, s posebno visokim vrijednostima u površinskom sloju (2,65 % OT i 1,54 % C). Usporedba podataka iz trećeg i četvrtog mjerenja u 2021. godini pokazala je značajan porast sadržaja organske tvari i organskog ugljika u tlu u sva tri uzgojna sustava. U kontrolnom sustavu, ukupni sadržaj organske tvari porastao je s 1,74 % na 1,80 %, a organskog ugljika s 1,01 % na 1,02 %. Najveći porast zabilježen je u površinskom sloju tla (0–30 cm), gdje je OT porasla s 1,72 % na 1,88 %, a C s 1,00 % na 1,04 %. U sustavu konsocijacije promjene su bile još izraženije – ukupna organska tvar porasla je s 1,85 % na 2,19 %, dok je organski ugljik porastao s 1,07 % na 1,27 %. Posebno se isticao površinski sloj tla (0–30 cm), gdje je OT porasla s 2,07 % na 2,40 %, a C s 1,20 % na 1,39 %. Najveći porast sadržaja organske tvari i ugljika zabilježen je u voćnjaku s orasima, gdje se ukupna organska tvar povećala s 1,75 % na 2,43 %, a organski ugljik s 0,99 % na 1,41 %. U površinskom sloju vrijednosti su narasle s 2,01 % na 2,65 % za OT, odnosno s 1,11 % na 1,54 % za C.

Tablica 36. Prikaz stanja organske tvari i organskog ugljika na različitim dubinama na lokalitetu Đakovo, tijekom četvrtog uzorkovanja 2021. godine

Redni broj	Broj uzorka	Sustav	Dubina	Organska tvar	Organski ugljik
1	1	Kontrola	0-30	2,07	1,20
2			30-60	1,72	1,00
3	2	Kontrola	0-30	1,93	0,89
4			30-60	1,69	0,98
5	3	Kontrola	0-30	1,90	1,11
6			30-60	1,76	1,02
7	4	Kontrola	0-30	1,90	1,11
8			30-60	1,55	0,90
9	5	Kontrola	0-30	1,90	1,11
10			30-60	1,90	1,11
11	6	Kontrola	0-30	1,66	0,97
12			30-60	1,76	1,02
13	7	Kontrola	0-30	1,93	0,89
14			30-60	1,66	0,97
15	8	Kontrola	0-30	1,72	1,00
16			30-60	1,79	1,04
Prosjek kontrola			0-30	1,88	1,04
			30-60	1,73	1,01
			Prosjek za obje dubine	1,80	1,02
17	9	Konsocijacija	0-30	2,38	1,38
18			30-60	1,83	1,06
19	10	Konsocijacija	0-30	2,34	1,36

Rezultati istraživanja					
20			30-60	1,97	1,15
21	11	Konsocijacija	0-30	2,41	1,40
22			30-60	2,17	1,26
23	12	Konsocijacija	0-30	2,38	1,38
24			30-60	2,07	1,20
25	13	Konsocijacija	0-30	2,62	1,52
26			30-60	1,97	1,15
27	14	Konsocijacija	0-30	2,17	1,26
28			30-60	2,07	1,20
29	15	Konsocijacija	0-30	2,76	1,61
30			30-60	1,90	1,11
31	16	Konsocijacija	0-30	2,10	1,22
32			30-60	1,90	1,11
Prosjek konsocijacija			0-30	2,40	1,39
			30-60	1,99	1,16
			Prosjek za obje dubine	2,19	1,27
33	17	Voćnjak (orasi)	0-30	2,69	1,56
34			30-60	2,48	1,44
35	18	Voćnjak (orasi)	0-30	2,69	1,56
36			30-60	2,24	1,30
37	19	Voćnjak (orasi)	0-30	2,69	1,56
38			30-60	2,07	1,20
39	20	Voćnjak (orasi)	0-30	2,52	1,47
40			30-60	2,07	1,20
Prosjek voćnjak (orasi)			0-30	2,65	1,54
			30-60	2,22	1,29
			Prosjek za obje dubine	2,43	1,41

Usporedba sadržaja organske tvari i organskog ugljika u tri različita uzgojna sustava pokazala je jasne razlike u kvaliteti tla između sustava. Kontrolni sustav imao je najniže vrijednosti, s ukupnim sadržajem organske tvari od 1,52 % i organskog ugljika od 0,88 %. Površinski sloj (0–30 cm) sadržavao je 1,58 % OT i 0,92 % C, dok je dublji sloj (30–60 cm) pokazao nešto niže vrijednosti – 1,46 % OT i 0,85 % C. Konsocijacijski sustav pokazao je poboljšane vrijednosti u odnosu na kontrolu, s ukupno 1,67 % organske tvari i 0,97 % ugljika. U površinskom sloju utvrđene vrijednosti od 1,94 % OT i 1,13 % C, dok je u dubljem sloju bilo vidljivo smanjenje na 1,40 % OT i 0,81 % C. Najbolje rezultati su bili u voćnjaku, gdje je ukupni sadržaj organske tvari iznosio 1,78 %, a organskog ugljika 1,04 %. U sloju 0–30 cm zabilježeno je 2,04 % OT i 1,19 % C, dok je u sloju 30–60 cm sadržaj bio nešto manji – 1,52 % OT i 0,88 % C (Tablica 37).

Usporedba podataka iz četvrtog i petog mjerenja 2021. godine pokazala je jasan pad sadržaja organske tvari i organskog ugljika u tlu u sva tri uzgojna sustava. U kontrolnom sustavu, ukupni sadržaj organske tvari smanjio se s 1,80 % na 1,52 %, dok se sadržaj organskog ugljika smanjio s 1,02 % na 0,88 %. Najizraženiji pad bio je vidljiv u sloju 0–30 cm, gdje je OT pala s 1,88 % na 1,58 %, a C s 1,04 % na 0,92 %. U konsocijacijskom sustavu uočen je značajan pad – ukupna organska tvar smanjila se s 2,19 % na 1,67 %, a organski ugljik s 1,27 % na 0,97 %. U površinskom sloju 0–30 cm, OT je pala s 2,40 % na 1,94 %, a C s 1,39 % na 1,13 %, dok je u sloju 30–60 cm smanjenje bilo još izraženije – OT s 1,99 % na 1,40 %, a C s 1,16 % na 0,81 %. Najveći apsolutni pad je bio primjećen u voćnjaku (orasi), gdje je ukupni sadržaj organske tvari smanjen s 2,43 % na 1,78 %, a organski ugljik s 1,41 % na 1,04 %. Površinski sloj pokazao je smanjenje OT s 2,65 % na 2,04 % i C s 1,54 % na 1,19 %, dok je u dubljem sloju zabilježeno smanjenje OT s 2,22 % na 1,52 % i C s 1,29 % na 0,88 %

Tablica 37. Prikaz stanja organske tvari i organskog ugljika na različitim dubinama na lokalitetu Đakovo, tijekom petog uzorkovanja 2021. godine

Redni broj	Broj uzorka	Sustav	Dubina	Organska tvar	Organski ugljik
1	1	Kontrola	0-30	1,59	0,92
2			30-60	1,59	0,92
3	2	Kontrola	0-30	1,59	0,92
4			30-60	1,34	0,78

Rezultati istraživanja					
5	3	Kontrola	0-30	1,62	0,94
6			30-60	1,48	0,86
7	4	Kontrola	0-30	1,59	0,92
8			30-60	1,55	0,90
9	5	Kontrola	0-30	1,48	0,86
10			30-60	1,41	0,82
11	6	Kontrola	0-30	1,52	0,88
12			30-60	1,52	0,88
13	7	Kontrola	0-30	1,59	0,92
14			30-60	1,48	0,86
15	8	Kontrola	0-30	1,66	0,97
16			30-60	1,34	0,78
Prosjek kontrola			0-30	1,58	0,92
			30-60	1,46	0,85
			Prosjekza obje dubine	1,52	0,88
17	9	Konsocijacija	0-30	1,86	1,08
18			30-60	1,38	0,80
19	10	Konsocijacija	0-30	1,83	1,06
20			30-60	1,31	0,76
21	11	Konsocijacija	0-30	1,83	1,06
22			30-60	1,21	0,70
23	12	Konsocijacija	0-30	1,79	1,04
24			30-60	1,48	0,86
25	13	Konsocijacija	0-30	2,62	1,52
26			30-60	1,28	0,74
27	14	Konsocijacija	0-30	1,76	1,02
28			30-60	1,76	1,02

Rezultati istraživanja					
29	15	Konsocijacija	0-30	2,00	1,16
30			30-60	1,14	0,66
31	16	Konsocijacija	0-30	1,86	1,08
32			30-60	1,66	0,97
Prosjek konsocijacija			0-30	1,94	1,13
			30-60	1,40	0,81
			Prosjek za obje dubine	1,67	0,97
33	17	Voćnjak (orasi)	0-30	2,17	1,26
34			30-60	1,41	0,82
35	18	Voćnjak (orasi)	0-30	2,31	1,34
36			30-60	1,69	0,98
37	19	Voćnjak (orasi)	0-30	1,79	1,04
38			30-60	1,38	0,80
39	20	Voćnjak (orasi)	0-30	1,90	1,11
40			30-60	1,55	0,90
41	24	Voćnjak (orasi)	0-30	2,31	1,34
42			30-60	1,55	0,90
43	22	Voćnjak (orasi)	0-30	2,00	1,16
44			30-60	1,66	0,97
45	23	Voćnjak (orasi)	0-30	2,00	1,16
46			30-60	1,45	0,84
47	24	Voćnjak (orasi)	0-30	1,86	1,08
48			30-60	1,48	0,86
Prosjek voćnjak (orasi)			0-30	2,04	1,19
			30-60	1,52	0,88
			Prosjek za obje dubine	1,78	1,04

3.6.2.5. Uzorkovanja u 2022. godini

Tijekom 2022. godine na lokalitetu Đakovo provedena su tri uzorkovanja tla u različitim vremenskim razdobljima kako bi se pratila dinamika promjena sadržaja organske tvari i organskog ugljika u tlu kroz godinu. Uzorkovanja su obavljena na istim pokusnim površinama i u istim uzgojnim sustavima kao i prethodne godine, a tlo je uzorkovano na dvije dubine – površinskoj (0–30 cm) i dubljoj (30–60 cm).

Usporedba sadržaja organske tvari i organskog ugljika u tri različita uzgojna sustava (Tablica 38), pokazala je određene razlike među sustavima, kako u površinskom sloju tla (0–30 cm), tako i u dubljem sloju (30–60 cm). U kontrolnom uzgojnom sustavu sadržaj organske tvari iznosio je 1,67 % u površinskom sloju i 1,59 % u dubljem sloju, dok je ukupan prosjek za obje dubine iznosio 1,63 %. Sadržaj organskog ugljika kretao se od 0,97 % u površinskom do 0,92 % u dubljem sloju, s ukupnim prosjekom od 0,95 %. Kod konsocijacije zabilježene su veće vrijednosti – u površinskom sloju organska tvar iznosila je 2,09 %, a u dubljem 1,82 %, što rezultira prosjekom od 1,96 %. Organski ugljik također je bio viši i iznosio je 1,21 % u gornjem sloju te 1,06 % u donjem, s ukupnim prosjekom od 1,14 %. Najviši sadržaji zabilježeni su u voćnjaku s orasima, gdje je organska tvar u površinskom sloju iznosila 2,56 %, a u dubljem 1,66 %, što daje ukupan prosjek od 2,11 %. Organski ugljik u ovom sustavu iznosio je 1,49 % u površinskom sloju i 0,97 % u dubljem sloju, s prosječnim udjelom od 1,23 %. Iz usporedbe je vidljivo kako je voćnjak imao najviši prosječni sadržaj organske tvari i ugljika, zatim je slijedila konsocijacija, dok je kontrola imala najniže vrijednosti.

Usporedba rezultata iz prvog mjerenja 2022. godine i petog mjerenja 2021. godine pokazala je opći porast sadržaja organske tvari i organskog ugljika u tlu u sva tri promatrana uzgojna sustava: kontrola, konsocijacija i voćnjak (orasi). U kontrolnom uzgoju, sadržaj organske tvari u sloju 0–30 cm povećao se s 1,58 % na 1,67 %, a u sloju 30–60 cm s 1,46 % na 1,59 %. Ukupan prosjek za obje dubine porastao je s 1,52 % na 1,63 %. Slično tome, organski ugljik je porastao u oba sloja (između 0,92 % i 0,97 % u površinskom sloju te s 0,85 % na 0,92 % u dubljem), s ukupnim povećanjem s 0,88 % na 0,95 %.

Kod konsocijacije zabilježen je porast: sadržaj organske tvari porastao je s 1,94 % na 2,09 % u površinskom sloju te s 1,40 % na 1,82 % u dubljem sloju, dok je ukupan prosjek za obje dubine porastao s 1,67 % na 1,96 %. Organski ugljik porastao je s 1,13 % na 1,21 % u sloju 0–30 cm, s 0,81 % na 1,06 % u sloju 30–60 cm, što daje ukupni prosjek od 1,14 % (u odnosu na ranijih

0,97 %). Najveći porast uočen je u voćnjaku. Organska tvar u površinskom sloju povećala se s 2,04 % na 2,56 %, dok je u sloju 30–60 cm porasla s 1,52 % na 1,66 %. Ukupni prosjek povećao se s 1,78 % na 2,11 %. Organski ugljik također je značajno porastao: s 1,19 % na 1,49 % u gornjem sloju i s 0,88 % na 0,97 % u donjem, što rezultira ukupnim porastom s 1,04 % na 1,23.

Tablica 38. Prikaz stanja organske tvari i organskog ugljika na različitim dubinama na lokalitetu Đakovo, tijekom prvog uzorkovanja 2022. godine

Redni broj	Broj uzorka	Sustav	Dubina	Organska tvar	Organski ugljik
1	1	Kontrola	0-30	1,60	0,93
2			30-60	1,65	0,96
3	2	Kontrola	0-30	1,72	1,00
4			30-60	1,54	0,90
5	3	Kontrola	0-30	1,67	0,97
6			30-60	1,81	1,05
7	4	Kontrola	0-30	1,70	0,99
8			30-60	1,71	0,99
9	5	Kontrola	0-30	1,71	0,99
10			30-60	1,46	0,85
11	6	Kontrola	0-30	1,69	0,98
12			30-60	1,55	0,90
13	7	Kontrola	0-30	1,61	0,94
14			30-60	1,39	0,81
15	8	Kontrola	0-30	1,69	0,98
16			30-60	1,60	0,93
Prosjek kontrola			0-30	1,67	0,97
			30-60	1,59	0,92

			Prosjek za obje dubine	1,63	0,95
17	9	Konsocijacija	0-30	2,07	1,20
18			30-60	1,71	0,99
19	10	Konsocijacija	0-30	1,89	1,10
20			30-60	1,78	1,04
21	11	Konsocijacija	0-30	2,03	1,18
22			30-60	1,67	0,97
23	12	Konsocijacija	0-30	2,11	1,23
24			30-60	1,54	0,90
25	13	Konsocijacija	0-30	2,23	1,30
26			30-60	1,86	1,08
27	14	Konsocijacija	0-30	2,03	1,18
28			30-60	1,97	1,15
29	15	Konsocijacija	0-30	2,15	1,25
30			30-60	2,33	1,36
31	16	Konsocijacija	0-30	2,19	1,27
32			30-60	1,73	1,01
Prosjek konsocijacija			0-30	2,09	1,21
			30-60	1,82	1,06
			Prosjek za obje dubine	1,96	1,14
33	17	Voćnjak (orasi)	0-30	2,68	1,56
34			30-60	1,99	1,16
35	18	Voćnjak (orasi)	0-30	2,25	1,31
36			30-60	1,51	0,88
37	19	Voćnjak (orasi)	0-30	2,90	1,69
38			30-60	1,75	1,02
39	20	Voćnjak	0-30	2,41	1,40

Rezultati istraživanja					
40		(orasi)	30-60	1,40	0,81
Prosjeak voćnjak (orasi)			0-30	2,56	1,49
			30-60	1,66	0,97
			Prosjeak za obje dubine	2,11	1,23

Usporedba sadržaja organske tvari i organskog ugljika u tri različita uzgojna sustava (Tablica 39) pokazala je određene razlike u odnosu na vrstu sustava. U kontrolnom sustavu, sadržaj organske tvari u površinskom sloju (0-30 cm) iznosio je 1,75 %, dok je u sloju 30-60 cm bio nešto viši, 1,78 %. Ukupno za obje dubine, sadržaj organske tvari iznosio je 1,77 %. Organski ugljik slijedi sličan trend, s 1,02 % u površinskom sloju i 1,01 % u dubljem sloju, s ukupnim postotkom za obje dubine od 1,01 %. U sustavu konsocijacije, sadržaj organske tvari u sloju 0-30 cm iznosio je 2,20 %, a u sloju 30-60 cm nešto niže 2,02 %. Ukupno za obje dubine sadržaj organske tvari je bio 2,11 %. Organski ugljik je također bio viši u konsocijaciji, s 1,29 % u površinskom sloju i 1,18 % u dubljem sloju, što daje ukupan postotak od 1,23 % za obje dubine. U voćnjaku (orasi), sadržaj organske tvari u sloju 0-30 cm iznosio je 2,42 %, a u sloju 30-60 cm 2,27 %. Ukupno za obje dubine, sadržaj organske tvari iznosio je 2,34 %. Organski ugljik također je bio najviši u ovom sustavu, s 1,41 % u površinskom sloju i 1,32 % u dubljem sloju, s ukupnim postotkom od 1,36 % za obje dubine. Zaključno, voćnjak (orasi) pokazuje najveći sadržaj organske tvari i organskog ugljika, dok je konsocijacija na drugom mjestu, dok je kontrola imala najniže vrijednosti u oba parametra. Usporedba rezultata iz drugog mjerenja iz 2022. godine s podacima iz prvog mjerenja iz 2022. godine pokazala je određene promjene u sadržaju organske tvari i organskog ugljika u tlu kroz različite uzgojne sustave. U kontrolnom sustavu, sadržaj organske tvari u površinskom sloju (0-30 cm) porastao je s 1,67 % na 1,75 %, dok je u sloju 30-60 cm također došlo do povećanja, s 1,59 % na 1,78 %. Ukupni sadržaj organske tvari za obje dubine povećao se s 1,63 % na 1,77 %. Sadržaj organskog ugljika je porastao, s 0,97 % na 1,02 % u površinskom sloju i s 0,92 % na 1,01 % u sloju 30-60 cm. Ukupni sadržaj organskog ugljika porastao je s 0,95 % na 1,01 %. U sustavu konsocijacije, sadržaj organske tvari u sloju 0-30 cm porastao je s 2,09 % na 2,20 %, dok je u sloju 30-60 cm također zabilježen porast, s 1,82 % na 2,02 %. Ukupno za obje dubine sadržaj organske tvari povećao se s 1,96 % na 2,11 %. Organski ugljik također je porastao, s 1,21 % na 1,29 % u površinskom sloju i s 1,06 % na 1,18 % u dubljem sloju. Ukupni sadržaj organskog ugljika porastao je s 1,14 % na 1,23 %. U voćnjaku (orasi), sadržaj organske tvari u sloju 0-30 cm smanjio se s 2,56 % na 2,42 %, dok je u sloju 30-60 cm došlo do manjeg smanjenja, s 1,66 %

na 1,52 %. Ukupni sadržaj organske tvari za obje dubine smanjio se s 2,11 % na 2,34 %. Organski ugljik je također smanjen, s 1,49 % na 1,41 % u površinskom sloju i s 0,97 % na 0,88 % u dubljem sloju, dok je ukupni sadržaj organskog ugljika smanjen s 1,23 % na 1,36 %.

Tablica 39. Prikaz stanja organske tvari i organskog ugljika na različitim dubinama na lokalitetu Đakovo, tijekom drugog uzorkovanja 2022. godine

Redni broj	Broj uzorka	Sustav	Dubina	Organska tvar	Organski ugljik
1	1	Kontrola	0-30	1,76	1,02
2			30-60	1,79	1,04
3	2	Kontrola	0-30	1,86	1,08
4			30-60	1,93	0,89
5	3	Kontrola	0-30	1,73	1,01
6			30-60	1,75	1,02
7	4	Kontrola	0-30	1,80	1,05
8			30-60	1,90	1,11
9	5	Kontrola	0-30	1,58	0,92
10			30-60	1,55	0,90
11	6	Kontrola	0-30	1,55	0,90
12			30-60	1,92	1,12
13	7	Kontrola	0-30	2,10	1,22
14			30-60	1,73	1,01
15	8	Kontrola	0-30	1,65	0,96
16			30-60	1,65	0,96

Prosjek kontrola			Rezultati istraživanja		
			0-30	1,75	1,02
			30-60	1,78	1,01
Prosjek za obje dubine			1,77	1,01	
17	9	Konsocijacija	0-30	2,27	1,32
18			30-60	1,96	1,14
19	10	Konsocijacija	0-30	2,31	1,34
20			30-60	2,24	1,30
21	11	Konsocijacija	0-30	2,03	1,18
22			30-60	1,83	1,06
23	12	Konsocijacija	0-30	2,24	1,30
24			30-60	2,20	1,32
25	13	Konsocijacija	0-30	2,52	1,47
26			30-60	2,38	1,38
27	14	Konsocijacija	0-30	2,28	1,33
28			30-60	1,96	1,14
29	15	Konsocijacija	0-30	1,76	1,02
30			30-60	1,55	0,90
31	16	Konsocijacija	0-30	2,20	1,32
32			30-60	2,00	1,16
Prosjek konsocijacija			0-30	2,20	1,29
			30-60	2,02	1,18
			Prosjek za obje dubine	2,11	1,23

Rezultati istraživanja					
33	17	Voćnjak (orasi)	0-30	2,27	1,32
34			30-60	2,34	1,36
35	18	Voćnjak (orasi)	0-30	2,63	1,53
36			30-60	2,10	1,22
37	19	Voćnjak (orasi)	0-30	2,66	1,55
38			30-60	1,90	1,11
39	20	Voćnjak (orasi)	0-30	2,10	1,22
40			30-60	2,72	1,58
Prosjek voćnjak (orasi)			0-30	2,42	1,41
			30-60	2,27	1,32
			Prosjek za obje dubine	2,34	1,36

Usporedba sadržaja organske tvari i organskog ugljika u tri različita uzgojna sustava (Tablica 40) pokazala je značajne razlike između kontrolnog sustava, konsocijacije i voćnjaka (orasi). U kontrolnom sustavu, sadržaj organske tvari u površinskom sloju (0-30 cm) iznosio je 1,71 %, dok je u dubljem sloju (30-60 cm) bio niži, 1,48 %. Ukupno za obje dubine, sadržaj organske tvari iznosio je 1,59 %. Organski ugljik je slijedio sličan trend, s 0,99 % u površinskom sloju i 0,86 % u sloju 30-60 cm, a ukupan postotak za obje dubine iznosio je 0,93 %. U sustavu konsocijacije, sadržaj organske tvari u sloju 0-30 cm bio je 1,89 %, a u sloju 30-60 cm niži, 1,50 %. Ukupno za obje dubine sadržaj organske tvari iznosio je 1,70 %. Organski ugljik također je bio veći u konsocijaciji, s 1,10 % u površinskom sloju i 0,88 % u dubljem sloju, što daje ukupan postotak od 0,99 % za obje dubine. U voćnjaku (orasi), sadržaj organske tvari u sloju 0-30 cm iznosio je 2,11 %, a u sloju 30-60 cm 1,81 %. Ukupno za obje dubine, sadržaj organske tvari iznosio je 1,96 %. Organski ugljik je također bio najviši u ovom sustavu, s 1,23 % u površinskom sloju i 1,05 % u dubljem sloju, s ukupnim postotkom od 1,14 % za obje dubine. Usporedba podataka iz trećeg i drugog mjerenja 2022. godine ukazala je na promjene u sadržaju organske tvari i organskog ugljika u tlu, s naglaskom na tri različita uzgojna sustava: kontrolu, konsocijaciju i voćnjak (orasi). U kontrolnom sustavu, sadržaj organske tvari u površinskom sloju (0-30 cm) bio je 1,75 % u drugom mjerenju, a 1,71 % u trećem, što pokazuje

blagi pad. U sloju 30-60 cm, sadržaj organske tvari porastao je s 1,78 % u drugom mjerenju na 1,48 % u trećem. Ukupno za obje dubine, sadržaj organske tvari bio je smanjen s 1,77 % u drugom mjerenju na 1,59 % u trećem. Organski ugljik je također zabilježio pad u obje dubine; s 1,02 % u 0-30 cm i 1,01 % u 30-60 cm u drugom mjerenju, smanjio se na 0,99 % i 0,86 % u trećem mjerenju, a ukupno za obje dubine pao je s 1,01 % na 0,93 %. U sustavu konsocijacije, sadržaj organske tvari u površinskom sloju (0-30 cm) pao je s 2,20 % u drugom mjerenju na 1,89 % u trećem. Slično, u sloju 30-60 cm, sadržaj organske tvari bio je smanjen s 2,02 % na 1,50 %, dok je ukupno za obje dubine pao s 2,11 % na 1,70 %. Organski ugljik u ovom sustavu također je pao; u površinskom sloju smanjen je s 1,29 % na 1,10 %, a u sloju 30-60 cm smanjen je s 1,18 % na 0,88 %. Ukupni postotak za obje dubine smanjio se s 1,23 % na 0,99 %. U voćnjaku (orasi), sadržaj organske tvari u sloju 0-30 cm smanjen je s 2,42 % u drugom mjerenju na 2,11 % u trećem, dok je u sloju 30-60 cm smanjen s 2,27 % na 1,81 %. Ukupno za obje dubine, sadržaj organske tvari smanjen je s 2,34 % na 1,96 %. Organski ugljik je također pao u oba sloja; u površinskom sloju smanjen je s 1,41 % na 1,23 %, a u dubljem sloju smanjen je s 1,32 % na 1,05 %. Ukupno za obje dubine, postotak organskog ugljika smanjen je s 1,36 % na 1,14 %.

Tablica 40. Prikaz stanja organske tvari i organskog ugljika na različitim dubinama na lokalitetu Đakovo, tijekom trećeg uzorkovanja 2022. godine

Redni broj	Broj uzorka	Sustav	Dubina	Organska tvar	Organski ugljik
1	1	Kontrola	0-30	1,86	1,08
2			30-60	1,52	0,88
3	2	Kontrola	0-30	1,62	0,94
4			30-60	1,00	0,58
5	3	Kontrola	0-30	1,69	0,98
6			30-60	1,45	0,84
7	4	Kontrola	0-30	1,75	1,02

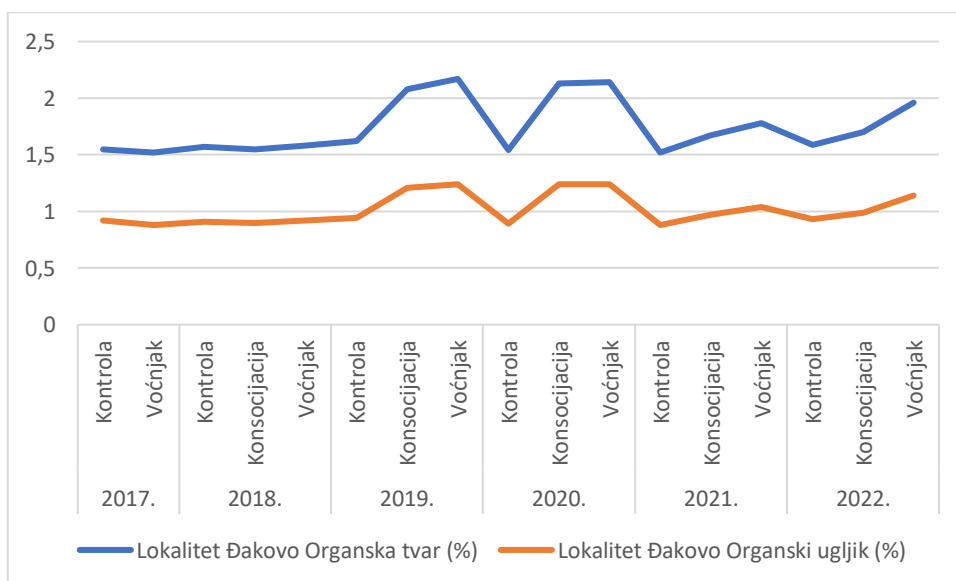
Rezultati istraživanja					
8			30-60	1,85	1,08
9	5	Kontrola	0-30	1,62	0,94
10			30-60	1,21	0,70
11	6	Kontrola	0-30	1,48	0,86
12			30-60	1,82	1,06
13	7	Kontrola	0-30	1,79	1,04
14			30-60	1,72	1,00
15	8	Kontrola	0-30	1,86	1,08
16			30-60	1,27	0,74
Prosjek kontrola			0-30	1,71	0,99
			30-60	1,48	0,86
			Prosjek za obje dubine	1,59	0,93
17	9	Konsocijacija	0-30	1,99	1,16
18			30-60	1,37	0,80
19	10	Konsocijacija	0-30	2,03	1,18
20			30-60	1,85	1,08
21	11	Konsocijacija	0-30	2,48	1,44
22			30-60	2,27	1,32
23	12	Konsocijacija	0-30	1,86	1,08
24			30-60	1,86	1,08
25	13	Konsocijacija	0-30	2,34	1,36
26			30-60	1,30	0,80

Rezultati istraživanja					
27	14	Konsocijacija	0-30	1,96	1,14
28			30-60	1,20	0,70
29	15	Konsocijacija	0-30	2,45	1,42
30			30-60	0,93	0,54
31	16	Konsocijacija	0-30	0,04	0,02
32			30-60	1,24	0,72
Prosjek konsocijacija			0-30	1,89	1,10
			30-60	1,50	0,88
			Prosjek za obje dubine	1,70	0,99
33	17	Voćnjak (orasi)	0-30	1,89	1,10
34			30-60	2,54	1,48
35	18	Voćnjak (orasi)	0-30	2,06	1,20
36			30-60	1,76	1,02
37	19	Voćnjak (orasi)	0-30	2,14	1,24
38			30-60	1,31	0,76
39	20	Voćnjak (orasi)	0-30	2,34	1,36
40			30-60	1,61	0,94
Prosjek voćnjak (orasi)			0-30	2,11	1,23
			30-60	1,81	1,05
			Prosjek za obje dubine	1,96	1,14

3.6.2.6. Đakovo – usporedba rezultata od 2018.-2022.

Usporedba rezultata iz trećeg mjerenja iz 2022. godine s onima iz 2018. godine pokazala je značajne promjene u sadržaju organske tvari i organskog ugljika u tlu kroz petogodišnje

razdoblje, promatrano unutar tri različita uzgojna sustava: kontrolnog, sustava konsocijacije i voćnjaka (orasi). U kontrolnom sustavu zabilježeno je smanjenje sadržaja organske tvari u površinskom sloju tla (0–30 cm) s 1,93 % na 1,71 %, dok je u dubljem sloju (30–60 cm) došlo do povećanja s 1,20 % na 1,48 %, što je rezultiralo blagim porastom ukupne vrijednosti za obje dubine s 1,57 % na 1,59 %. Sličan obrazac vidljiv je i kod organskog ugljika: u gornjem sloju došlo je do smanjenja s 1,12 % na 0,99 %, dok je u dubljem sloju zabilježen porast s 0,70 % na 0,86 %, s ukupnim blagim porastom s 0,91 % na 0,93 %. U sustavu konsocijacije, sadržaj organske tvari u površinskom sloju blago se smanjio s 1,99 % na 1,89 %, no u sloju 30–60 cm zabilježeno je osjetno povećanje s 1,10 % na 1,50 %. Ukupno gledano, organska tvar u ovom sustavu porasla je s 1,55 % na 1,70 %. Kod organskog ugljika, u površinskom sloju zabilježen je pad s 1,15 % na 1,10 %, dok se u dubljem sloju povećao s 0,64 % na 0,88 %. Ukupna vrijednost za obje dubine povećana je s 0,90 % na 0,99 %, što ukazuje na pozitivan trend unatoč blagim oscilacijama. Najveće pozitivne promjene zabilježene su u voćnjaku (orasi), gdje se sadržaj organske tvari u sloju 0–30 cm povećao s 2,05 % na 2,11 %, a u dubljem sloju s 1,10 % na čak 1,81 %. Ukupno gledano, sadržaj organske tvari porastao je s 1,58 % na 1,96 %, što predstavlja najizraženiji napredak. Organski ugljik je slijedio isti trend – u površinskom sloju povećan je s 1,19 % na 1,23 %, a u dubljem sloju s 0,64 % na 1,05 %, čime je ukupna vrijednost narasla s 0,92 % na 1,14 %. Zaključno, tijekom pet godina istraživanja najznačajniji napredak u očuvanju i povećanju sadržaja organske tvari i organskog ugljika zabilježen je u voćnjaku.



Grafikon 5. Prikaz kretanja prosječnih vrijednosti sadržaja organske tvari i organskog ugljika na lokalitetu Đakovo

Na početku promatranog razdoblja vrijednosti u kontroli ostaju relativno stabilne uz minimalne varijacije, dok voćnjak pokazuje blagi rast sadržaja organske tvari i organskog ugljika u tlu. Uvođenjem konsocijacije bilježi se izražen porast, koji se zadržava i tijekom naredne godine, dok se u isto vrijeme u kontroli uočava pad, a vrijednosti u voćnjaku nakon početnog povećanja stagniraju. U sljedećoj fazi svi tretmani pokazuju smanjenje, pri čemu je pad najizraženiji u kontroli, dok su promjene u konsocijaciji i voćnjaku umjerenije. U završnoj godini opaža se ponovni porast sadržaja organske tvari i organskog ugljika kod svih tretmana, pri čemu je on izraženiji u voćnjaku i konsocijaciji, dok se kontrola povećava sporijim intenzitetom (Grafikon 5).

3.6.2.7. Sekvestracija ugljika na lokalitetu Đakovo

Na lokalitetu Đakovo u razdoblju od 2018. do 2022. godine provedeno je prikupljanje uzoraka tla i analiza agrokemijskih parametara tla. Navedenim analizama utvrđene su razine organske tvari i organskoga ugljika u tlu, koji su korišteni u daljnjem računanju zaliha ugljika u tlu, koristeći formulu:

$$CS = SOC \times \rho_b \times D \times 100$$

$$CS = \text{zaliha ugljika u tlu (carbon stock) (t C ha}^{-1}\text{)}$$

$$SOC = \text{koncentracija organskog ugljika u tlu (organic carbon) (\%)}$$

$$\rho_b = \text{volumna gustoća tla (g cm}^{-3}\text{)}$$

$$D = \text{dubina tla (cm)}$$

Dobivene vrijednosti zalihe ugljika u tlu dalje su se uvrštavale u formulu za izračun sekvestracije ugljika u tlu:

$$SU = SU_{xgod} - SU_{xgod}$$

$$SU = \text{sekvestracija ugljika (t C ha}^{-1}\text{)}$$

$$SU_{xgod} = \text{stanje ugljika promatrane (x) godine (t C ha}^{-1}\text{)}$$

3.6.2.8. Zalihe i sekvestracija ugljika u tlu na lokalitetu Đakovo

U tablicama 41 i 42 prikazani su izračuni zaliha ugljika u tlu te njihov ukupan pregled po uzgojnim sustavima na lokalitetu Đakovo za razdoblje od 2017. do 2022. godine. Tablica 41 sadrži detaljne podatke o zalihama ugljika izraženima u tonama po hektaru, koji su izračunati na temelju izmjerenih koncentracija organskog ugljika, gustoće tla i dubine uzorkovanja.

Tablica 41. Pregled izračuna zaliha ugljika na lokalitetu Đakovo u periodu 2017.-2022.

2017. godina
Kontrola:
$CS = 0,92 \times 1,54 \text{ g cm}^{-3} \times 60 \text{ cm} \times 100 = 8500,80 \text{ kg C ha}^{-1}/1000 = 8,50 \text{ t C ha}^{-1}$
Voćnjak (orasi):
$CS = 0,88 \times 1,54 \text{ g cm}^{-3} \times 60 \text{ cm} \times 100 = 8131,20 \text{ C ha}^{-1}/1000 = 8,13 \text{ t C ha}^{-1}$
2018. godina
Kontrola:
$CS = 0,91 \times 1,54 \text{ g cm}^{-3} \times 60 \text{ cm} \times 100 = 8408,40 \text{ kg C ha}^{-1}/1000 = 8,41 \text{ t C ha}^{-1}$
Konsocijacija:
$CS = 0,90 \times 1,54 \text{ g cm}^{-3} \times 60 \text{ cm} \times 100 = 8316 \text{ kg C ha}^{-1}/1000 = 8,32 \text{ t C ha}^{-1}$
Voćnjak (orasi):
$CS = 0,92 \times 1,54 \text{ g cm}^{-3} \times 60 \text{ cm} \times 100 = 8500,80 \text{ kg C ha}^{-1}/1000 = 8,50 \text{ t C ha}^{-1}$
2019. godina
Kontrola:
$CS = 0,94 \times 1,54 \text{ g cm}^{-3} \times 60 \text{ cm} \times 100 = 8685,60 \text{ kg C ha}^{-1}/1000 = 8,69 \text{ t C ha}^{-1}$
Konsocijacija:
$CS = 1,21 \times 1,54 \text{ g cm}^{-3} \times 60 \text{ cm} \times 100 = 11180,40 \text{ kg C ha}^{-1}/1000 = 11,18 \text{ t C ha}^{-1}$
Voćnjak (orasi):
$CS = 1,24 \times 1,54 \text{ g cm}^{-3} \times 60 \text{ cm} \times 100 = 11457,60 \text{ kg C ha}^{-1}/1000 = 11,46 \text{ t C ha}^{-1}$
2020. godina
Kontrola:

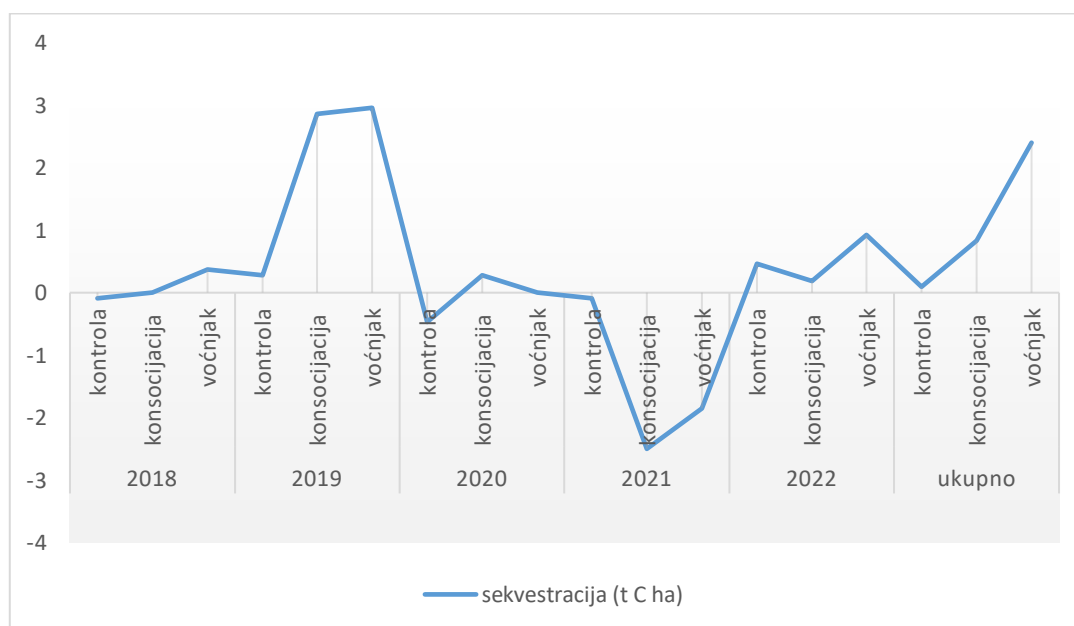
CS= 0,89 x 1,54 g cm⁻³ x 60 cm x 100 = 8223,60 kg C ha⁻¹/1000 = 8,22 t C ha⁻¹
Konsocijacija:
CS= 1,24 x 1,54 g cm⁻³ x 60 cm x 100 = 11457,60 kg C ha⁻¹/1000 = 11,46 t C ha⁻¹
Voćnjak (orasi):
CS= 1,24 x 1,54 g cm⁻³ x 60 cm x 100 = 11457,60 kg C ha⁻¹/1000 = 11,46 t C ha⁻¹
2021. godina
Kontrola:
CS= 0,88 x 1,54 g cm⁻³ x 60 cm x 100 = 8131,20 kg C ha⁻¹/1000 = 8,13 t C ha⁻¹
Konsocijacija:
CS=0,97 x 1,54 g cm⁻³ x 60 cm x 100 = 8962,80 kg C ha⁻¹/1000 = 8,96 t C ha⁻¹
Voćnjak (orasi):
CS= 1,04 x 1,54 g cm⁻³ x 60 cm x 100 = 9609,60 kg C ha⁻¹/1000 = 9,61 t C ha⁻¹
2022. godina
Kontrola:
CS= 0,93 x 1,54 g cm⁻³ x 60 cm x 100 = 8593,20 kg C ha⁻¹/1000 = 8,59 t C ha⁻¹
Konsocijacija:
CS= 0,99 x 1,54 g cm⁻³ x 60 cm x 100 = 9147,60 kg C ha⁻¹/1000 = 9,15 t C ha⁻¹
Voćnjak (orasi):
CS= 1,14 x 1,54 g cm⁻³ x 60 cm x 100 = 10533,60 kg C ha⁻¹/1000 = 10,53 t C ha⁻¹

Tablica 42 pruža sažet i usporedan pregled ukupnih zaliha ugljika po godinama i sustavima, olakšavajući analizu trenda sekvestracije ugljika u tlu. Na temelju ovih podataka moguće je utvrditi koji sustav uzgoja najviše doprinosi akumulaciji ugljika, a time i poboljšanju kvalitete tla te mitigaciji klimatskih promjena kroz sekvestraciju ugljika iz atmosfere.

Tablica 42. Zalihe ugljika u tlu, na lokalitetu Đakovu tijekom 5 godina istraživanja

Uzgojni sustav	Godina	Zaliha ugljika (t C ha⁻¹)
KONTROLA	2017.	8,50
	2018.	8,41
	2019.	8,69

	2020.	8,22
	2021.	8,13
	2022.	8,59
KONSOCIJACIJA	2018.	8,32
	2019.	11,18
	2020.	11,46
	2021.	8,96
	2022.	9,15
VOĆNJAK (ORAH)	2017.	8,13
	2018.	8,50
	2019.	11,46
	2020.	11,46
	2021.	9,61
	2022.	10,53



Grafikon 6. Prikaz sekvestracije ugljika na lokalitetu Đakovo

Analiza rezultata o sekvestraciji ugljika (SU) na lokalitetu Đakovo tijekom petogodišnjeg razdoblja (2017.–2022.) za tri različita uzgojna sustava (Grafikon 6) – kontrolu, konsocijaciju i voćnjak (orasi) – pruža uvid u dinamiku sekvestracije ili gubitka ugljika u tlu, izraženog u tonama ugljika po hektaru godišnje ($t\ C\ ha^{-1}$). U kontrolnom sustavu uočene su oscilacije između godina, s vrlo malim neto učinkom na sekvestraciju ugljika. Negativne vrijednosti

zabilježene su u 2018. ($-0,09 \text{ t C ha}^{-1}$), 2020. ($-0,47 \text{ t C ha}^{-1}$) i 2021. godini ($-0,09 \text{ t C ha}^{-1}$), što upućuje na gubitak ugljika iz tla, dok su pozitivne vrijednosti u 2019. ($0,28 \text{ t C ha}^{-1}$) i 2022. godini ($0,46 \text{ t C ha}^{-1}$) ukazivale na određenu razinu sekvestracije ugljika. Ukupno, tijekom pet godina, bilježi se vrlo skroman porast ukupnog ugljika od svega $0,09 \text{ t C ha}^{-1}$, što ukazuje da je ovaj sustav uglavnom neutralan u pogledu sekvestracije. Sustav konsocijacije pokazao je veće fluktuacije, ali i pozitivan ukupan učinak na sekvestraciju ugljika. Značajan porast zabilježen je u 2019. ($2,86 \text{ t C ha}^{-1}$), dok su manji prirasti prisutni u 2020. ($0,28 \text{ t C ha}^{-1}$) i 2022. godini ($0,19 \text{ t C ha}^{-1}$). Međutim, u 2021. godini zabilježen je gubitak ugljika od $-2,5 \text{ t C ha}^{-1}$. Unatoč oscilacijama, ukupni dobitak u ovom sustavu tijekom pet godina iznosio je $0,83 \text{ t C ha}^{-1}$, što ga čini efikasnijim od kontrole u pogledu zadržavanja i povećanja zaliha ugljika u tlu. Voćnjak je pokazao najsnažniji kapacitet sekvestracije ugljika. Tijekom 2018. ($0,37 \text{ t C ha}^{-1}$), 2019. ($2,96 \text{ t C ha}^{-1}$) i 2022. godine ($0,92 \text{ t C ha}^{-1}$) zabilježene su kontinuirane pozitivne vrijednosti sekvestracije ugljika, uz stagnaciju u 2020. (0 t C ha^{-1}) i pad u 2021. godini ($-1,85 \text{ t C ha}^{-1}$). Ukupan saldo u razdoblju od 2017. do 2022. Iznosio je $2,4 \text{ t C ha}^{-1}$, što je najveće povećanje sekvestriranog ugljika među sva tri sustava. Zaključno, tijekom pet godina istraživanja, voćnjak (orasi) pokazao je najveći potencijal za sekvestraciju ugljika dok je sustav konsocijacije također pokazao pozitivan učinak, iako s izraženijim godišnjim varijacijama. Nasuprot tome, kontrolni sustav imao je gotovo neutralan učinak na zalihe ugljika.

3.6.2.9. Emisije CO₂ na lokalitetu Đakovo

Za izračun emisije ugljičnog dioksida (CO₂) korišteni su podaci o potrošnji dizelskog goriva traktora tijekom obavljanja svih agrotehničkih mjera (gnojidba i zaštita bilja u skladu s ekološkim principima uzgoja kao i reducirana obrada tla) koje su se provodile u jednoj godini na lokalitetu Đakovo, na svakom tretmanu. Godišnja potrošnja dizela za navedene aktivnosti iznosila je prosječno 72 litre po hektaru. S obzirom na ukupnu površinu pokusnog polja u Đakovu (4,2 ha), i to kontrola 1,5 ha, konsocijacija 1,35 ha te voćnjak 1,35 ha, izračunata je godišnja potrošnja od ukupno 302,40 litara dizela za provedbu svih potrebnih agrotehničkih mjera. Budući da istraživanje traje pet godina, ukupna potrošnja dizela tijekom cijelog trajanja istraživanja iznosila je 1512 litara dizela. Godišnja potrošnja u litrama preračunata je u metre kubne, što je uobičajena mjera za daljnje izračune emisije CO₂, te je iznosila $1,51 \text{ m}^3$ dizela. Ova količina goriva predstavlja osnovu za izračun ukupne emisije CO₂ povezanih s radom traktora na ovoj lokaciji tijekom cijelog razdoblja istraživanja.

Nakon izračunate količine dizelskog goriva utrošenog tijekom svih pet godina istraživanja, dobivena vrijednost od 1,51 m³ dizela koristila se kao ulazni podatak za daljnji izračun emisija CO₂. U tu svrhu, primijenjena je službena metoda izračuna emisija, preuzeta iz Pravilnika o registru onečišćavanja okoliša (NN 8/2013). Ova formula omogućila je standardiziran proračun količine emitiranog ugljičnog dioksida na temelju volumena potrošenog goriva, čime se osigurava usporedivost i točnost rezultata u skladu s važećim zakonodavstvom Republike Hrvatske.

$$\text{Emisije CO}_2 = \text{Podaci o djelatnosti} * \text{Emisijski faktor} * \text{Oksidacijski faktor}$$

Podaci o aktivnosti izraženi su kao neto energetska sadržaj goriva utrošenog u određenom vremenskom razdoblju. Neto kalorijska vrijednost goriva propisana je u Pravilniku o registru onečišćavanja okoliša (NN 8/2013). Podaci o aktivnosti određeni su primjenom sljedeće formule, posebno za svaki tretman:

$$\text{Energetski sadržaj utroška goriva [TJ]} = \text{potrošeno gorivo [m}^3\text{]} * \text{neto kalorična vrijednost goriva [TJ/m}^3\text{]} = 0,54 \text{ m}^3 * 43,0 = 23,22 \text{ t CO}_2/\text{m}^3 \text{ [kontrolni tretman]}$$

$$\text{Energetski sadržaj utroška goriva [TJ]} = \text{potrošeno gorivo [m}^3\text{]} * \text{neto kalorična vrijednost goriva [TJ/m}^3\text{]} = 0,49 \text{ m}^3 * 43,0 = 20,90 \text{ t CO}_2/\text{m}^3 \text{ [konsocijacijski tretman]}$$

$$\text{Energetski sadržaj utroška goriva [TJ]} = \text{potrošeno gorivo [m}^3\text{]} * \text{neto kalorična vrijednost goriva [TJ/m}^3\text{]} = 0,49 \text{ m}^3 * 43,0 = 20,90 \text{ t CO}_2/\text{m}^3 \text{ [voćnjak]}$$

Nakon dobivene vrijednosti „podaci o djelatnosti“ svi preostali podaci su se uvrstili u gore navedenu formulu kako bi se dobile ukupne emisije CO₂, za svaki tretman i za svih 5 godina na lokalitetu Đakovo:

$$\text{Emisije CO}_2 = 65,02 \text{ t CO}_2/\text{Nm}^3 * 74,0 \text{ t CO}_2/\text{TJ} * 1,0 = 4811,48 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ god}$$

3.6.3. Pregled sekvestracije ugljika te emisija CO₂ na lokalitetu Ivanka

Sekvestracija ugljika u tlu praćena je tijekom petogodišnjeg perioda s ciljem procjene promjena u sadržaju organskog ugljika pod utjecajem agrotehničkih zahvata i okolišnih uvjeta. U sklopu istraživanja provedeno je ukupno 11 uzorkovanja tla: jedno 2018. godine, dva u 2019., jedno u 2020., četiri tijekom 2021. te tri u 2022. godini. Dobiveni podaci omogućili su analizu dinamike

ugljika u tlu kroz vremenski kontinuitet i različite faze vegetacijskog ciklusa

3.6.3.1. Uzorkovanje tla u 2018. godini

Tablica 43 prikazuje rezultate mjerenja sadržaja organske tvari i organskog ugljika u tlu na lokalitetu Ivankovo u 2018. godini, i to na dubinama od 0–30 cm i 30–60 cm, u tri različita sustava: kontrola, konsocijacija i voćnjak (orasi). U svim kategorijama uočen je očekivani pad sadržaja organske tvari i ugljika s povećanjem dubine tla. Najniže vrijednosti zabilježene su u kontrolnom uzorku, dok su više vrijednosti zabilježene u konsocijaciji i voćnjaku. Na dubini od 0–30 cm, sadržaj organske tvari kretao se od 1,70 % (kontrola) do 1,83 % (konsocijacija i voćnjak), dok je sadržaj organskog ugljika iznosio od 0,99 % do 1,06 %. Ukupno za obje dubine, najviši prosječni sadržaj bio je zabilježen kod konsocijacije i voćnjaka (1,62 % organske tvari i 0,94 % organskog ugljika).

Tablica 43. Prikaz stanja organske tvari i organskog ugljika na različitim dubinama na lokalitetu Ivankovo, tijekom uzorkovanja 2018. godine

Redni broj	Broj uzorka	Sustav	Dubina	Organska tvar	Organski ugljik
1	1	Kontrola	0-30	1,69	0,98
2			30-60	1,17	0,68
3	2	Kontrola	0-30	1,76	1,02
4			30-60	0,97	0,56
5	3	Kontrola	0-30	1,66	0,97
6			30-60	1,31	0,76
7	4	Kontrola	0-30	1,69	0,98
8			30-60	1,31	0,76
Prosjek kontrola			0-30	1,70	0,99
			30-60	1,19	0,69
			Prosjek za obje dubine	1,45	0,84
9	5	Konsocijacija	0-30	1,55	0,90

Rezultati istraživanja					
10			30-60	1,24	0,72
11	6	Konsocijacija	0-30	1,69	0,98
12			30-60	1,62	0,94
13	7	Konsocijacija	0-30	1,9	1,10
14			30-60	1,45	0,84
15	8	Konsocijacija	0-30	1,59	0,92
16			30-60	1,00	0,58
17	9	Konsocijacija	0-30	1,69	0,98
18			30-60	1,34	0,78
19	10	Konsocijacija	0-30	1,59	0,92
20			30-60	1,07	0,62
21	11	Konsocijacija	0-30	2,00	1,16
22			30-60	1,66	0,97
23	12	Konsocijacija	0-30	2,21	1,29
24			30-60	1,69	0,98
25	13	Konsocijacija	0-30	2,21	1,29
26			30-60	1,72	1,00
Prosjek konsocijacija			0-30	1,83	1,06
			30-60	1,42	0,82
			Prosjek za obje dubine	1,62	0,94
27	14	Voćnjak (orasi)	0-30	1,9	1,10
28			30-60	1,48	0,86
29	15	Voćnjak (orasi)	0-30	1,55	0,90
30			30-60	1,17	0,68
31	16	Voćnjak (orasi)	0-30	1,93	1,12
32			30-60	1,21	0,70
33	17	Voćnjak (orasi)	0-30	1,72	1,00
34			30-60	1,66	0,97
35	18	Voćnjak (orasi)	0-30	1,97	1,15
36			30-60	1,41	0,82
37	19	Voćnjak (orasi)	0-30	1,9	1,10
38			30-60	1,52	0,88

Rezultati istraživanja					
39	20	Voćnjak	0-30	1,83	1,06
40		(orasi)	30-60	1,41	0,82
Prosjek voćnjak (orasi)			0-30	1,83	1,06
			30-60	1,41	0,82
			Prosjek za obje dubine	1,62	0,94

3.6.3.2. Uzorkovanja tla u 2019. godini

Na lokalitetu u Ivankovu tijekom 2019. godine tlo je uzorkovano dvaput, kako bi se pratila sezonska varijabilnost u sadržaju organskog ugljika i drugih relevantnih svojstava tla. Tablica 44 prikazuje rezultate mjerenja sadržaja organske tvari i organskog ugljika u tlu na lokalitetu Ivankovo za 2019. godinu, na dvije dubine tla: 0–30 cm i 30–60 cm, unutar triju različitih tipova korištenja zemljišta: kontrola, konsocijacija i voćnjak (orasi). Uočen je jasan trend povećanja sadržaja organske tvari i organskog ugljika u odnosu na prethodnu godinu, osobito u konsocijaciji i voćnjaku, gdje su zabilježene i najviše vrijednosti. Na dubini od 0–30 cm, sadržaj organske tvari kretao se od 1,67 % (kontrola) do 2,41 % (voćnjak), dok je sadržaj organskog ugljika iznosio od 0,97 % do 1,40 %. Ukupno za obje dubine, najviši prosječni sadržaji utvrđeni su u voćnjaku (2,17 % organske tvari i 1,24 % ugljika).

Tablica 44. Prikaz stanja organske tvari i organskog ugljika na različitim dubinama na lokalitetu Ivankovo, tijekom prvog uzorkovanja 2019. godine

Redni broj	Broj uzorka	Sustav	Dubina	Organska tvar	Organski ugljik
1	1	Kontrola	0-30	1,83	1,06
2			30-60	1,72	1,00
3	2	Kontrola	0-30	1,69	0,98
4			30-60	1,59	0,92
5	3	Kontrola	0-30	1,97	1,15
6			30-60	1,72	1,00
7	4	Kontrola	0-30	1,52	0,88
8			30-60	1,52	0,88
9	5	Kontrola	0-30	1,62	0,94
10			30-60	1,62	0,94

Rezultati istraživanja					
11	6	Kontrola	0-30	1,69	0,98
12			30-60	1,45	0,84
13	7	Kontrola	0-30	1,66	0,97
14			30-60	1,38	0,80
15	8	Kontrola	0-30	1,59	0,92
16			30-60	1,62	0,94
17	9	Kontrola	0-30	1,72	1,00
18			30-60	1,72	1,00
19	10	Kontrola	0-30	1,59	0,92
20			30-60	1,38	0,80
21	11	Kontrola	0-30	1,83	1,06
22			30-60	1,72	1,00
23	12	Kontrola	0-30	1,79	1,04
24			30-60	1,52	0,88
25	13	Kontrola	0-30	1,48	0,86
26			30-60	1,69	0,98
27	14	Kontrola	0-30	1,62	0,94
28			30-60	1,48	0,86
29	15	Kontrola	0-30	1,52	0,88
30			30-60	1,17	0,68
31	16	Kontrola	0-30	1,66	0,97
32			30-60	1,72	1,00
Prosjek kontrola			0-30	1,67	0,97
			30-60	1,56	0,91
			Prosjek za obje dubine	1,62	0,94
33	17	Konsocijacija	0-30	2,65	1,54
34			30-60	2,28	1,33
35	18	Konsocijacija	0-30	1,90	1,11
36			30-60	1,52	0,88
37	19	Konsocijacija	0-30	2,48	1,44
38			30-60	2,00	1,16

Rezultati istraživanja					
39	20	Konsocijacija	0-30	2,28	1,33
40			30-60	1,83	1,06
41	21	Konsocijacija	0-30	2,65	1,54
42			30-60	2,28	1,33
43	22	Konsocijacija	0-30	2,03	1,18
44			30-60	1,52	0,88
45	23	Konsocijacija	0-30	2,14	1,24
46			30-60	2,14	1,24
47	24	Konsocijacija	0-30	1,90	1,11
48			30-60	1,69	0,98
Prosjek konsocijacija			0-30	2,25	1,31
			30-60	1,91	1,11
			Prosjek za obje dubine	2,08	1,21
49	25	Voćnjak (orasi)	0-30	2,38	1,38
50			30-60	2,07	1,20
51	26	Voćnjak (orasi)	0-30	2,34	1,36
52			30-60	1,79	1,04
53	27	Voćnjak (orasi)	0-30	2,17	1,26
54			30-60	1,93	0,89
55	28	Voćnjak (orasi)	0-30	2,45	1,42
56			30-60	2,03	1,18
57	29	Voćnjak (orasi)	0-30	2,38	1,38
58			30-60	1,97	1,15
59	30	Voćnjak (orasi)	0-30	2,38	1,38
60			30-60	1,83	1,06
61	31	Voćnjak (orasi)	0-30	2,79	1,62
62			30-60	1,97	1,15
63	32	Voćnjak (orasi)	0-30	2,41	1,40
64			30-60	1,79	1,04
Prosjek voćnjak (orasi)			0-30	2,41	1,40
			30-60	1,92	1,09

Rezultati istraživanja			
	Prosjek za obje dubine	2,17	1,24

Drugo mjerenje sadržaja organske tvari i organskog ugljika provedeno 2019. godine, prikazano u Tablici 45, na lokalitetu Ivankovo obuhvatilo je tri različita uzgojna sustava – kontrolu, konsocijaciju i voćnjak (orasi) – pri čemu su podaci prikupljeni s dviju dubina tla: 0–30 cm i 30–60 cm. U kontrolnom sustavu, zabilježen je najviši sadržaj organske tvari (1,91 %) i organskog ugljika (1,05 %) u površinskom sloju tla (0–30 cm), dok su u dubljem sloju (30–60 cm) vrijednosti bile nešto niže – 1,59 % organske tvari i 0,92 % ugljika. Ukupno za obje dubine, kontrola je pokazala prosječne vrijednosti od 1,75 % organske tvari i 0,99 % ugljika, što je bio najviši rezultat među promatranim sustavima. U sustavu konsocijacije zabilježene su najniže vrijednosti: u sloju 0–30 cm sadržaj organske tvari iznosio je 1,53 %, a ugljika 0,89 %, dok su u sloju 30–60 cm te vrijednosti bile još niže – 1,40 % i 0,81 %. Ukupno gledano, za obje dubine prosječne vrijednosti iznosile su 1,47 % za organsku tvar i 0,85 % za organski ugljik. U voćnjaku, u sloju 0–30 cm, sadržaj organske tvari iznosio je 1,72 %, a organskog ugljika 1,00 %, dok su u sloju 30–60 cm te vrijednosti bile 1,53 % i 0,89 %. Ukupno za obje dubine, prosječne vrijednosti su iznosile 1,62 % za organsku tvar i 0,94 % za ugljik.

Usporedba rezultata drugog mjerenja sadržaja organske tvari i organskog ugljika iz 2019. godine s podacima iz 2018. godine na lokalitetu Ivankovo pokazao je različite trendove promjena unutar tri uzgojna sustava. Analiza se temeljila na podacima iz dvaju slojeva tla (0–30 cm i 30–60 cm), kao i na ukupnoj vrijednosti za obje dubine. U kontrolnom sustavu zabilježen je porast sadržaja organske tvari u oba sloja, pri čemu je u sloju 0–30 cm vrijednost bila porasla s 1,70 % na 1,91 %, a u sloju 30–60 cm s 1,19 % na 1,59 %, dok je ukupna vrijednost za obje dubine bila porasla s 1,45 % na 1,75 %. Sličan trend bio je vidljiv i kod organskog ugljika – porast s 0,99 % na 1,05 % u površinskom sloju, s 0,69 % na 0,92 % u dubljem sloju te ukupno s 0,84 % na 0,99 %.

Suprotno tome, u sustavu konsocijacije došlo je do smanjenja vrijednosti, osobito u sloju 0–30 cm gdje je sadržaj organske tvari pao s 1,83 % na 1,53 %, dok je u sloju 30–60 cm smanjen sa 1,42 % na 1,40 %, a ukupno s 1,62 % na 1,47 %. Organski ugljik u ovom sustavu također je smanjen: s 1,06 % na 0,89 % u površinskom sloju, s 0,82 % na 0,81 % u dubljem sloju, te ukupno s 0,94 % na 0,85 %. U voćnjaku (orasi) zabilježena je stabilnost ukupnog sadržaja organske tvari (1,62 %) i organskog ugljika (0,94 %) na obje dubine, iako je u površinskom sloju došlo do blagog smanjenja organske tvari (s 1,83 % na 1,72 %) i organskog ugljika (s

1,06 % na 1,00 %), dok su vrijednosti u dubljem sloju porasle (organska tvar s 1,41 % na 1,53 %, a ugljik s 0,82 % na 0,89 %).

Tablica 45. Prikaz stanja organske tvari i organskog ugljika na različitim dubinama na lokalitetu Ivanka, tijekom drugog uzorkovanja 2019. godine

Redni broj	Broj uzorka	Sustav	Dubina	Organska tvar	Organski ugljik
1	1	Kontrola	0-30	1,69	0,98
2			30-60	1,76	1,02
3	2	Kontrola	0-30	2,28	1,33
4			30-60	1,59	0,92
5	3	Kontrola	0-30	1,72	1,00
6			30-60	1,59	0,92
7	4	Kontrola	0-30	1,93	0,89
8			30-60	1,41	0,82
Prosjek kontrola			0-30	1,91	1,05
			30-60	1,59	0,92
			Prosjek za obje dubine	1,75	0,99
9	5	Konsocijacija	0-30	1,48	0,86
10			30-60	1,48	0,86
11	6	Konsocijacija	0-30	1,38	0,80
12			30-60	1,21	0,70
13	7	Konsocijacija	0-30	1,55	0,90
14			30-60	1,17	0,68
15	8	Konsocijacija	0-30	1,72	1,00
16			30-60	1,59	0,92
17	9	Konsocijacija	0-30	1,38	0,80
18			30-60	1,10	0,64
19	10	Konsocijacija	0-30	1,45	0,84
20			30-60	1,76	1,02
21	11	Konsocijacija	0-30	1,69	0,98

Rezultati istraživanja					
22			30-60	1,34	0,78
23	12	Konsocijacija	0-30	1,59	0,92
24			30-60	1,55	0,90
Prosjek konsocijacija			0-30	1,53	0,89
			30-60	1,40	0,81
			Prosjek za obje dubine	1,47	0,85
25	13	Voćnjak (orasi)	0-30	1,59	0,92
26			30-60	1,31	0,76
27	14	Voćnjak (orasi)	0-30	1,76	1,02
28			30-60	1,52	0,88
29	15	Voćnjak (orasi)	0-30	1,69	0,98
30			30-60	1,62	0,94
31	16	Voćnjak (orasi)	0-30	1,83	1,06
32			30-60	1,66	0,97
Prosjek voćnjak (orasi)			0-30	1,72	1,00
			30-60	1,53	0,89
			Prosjek za obje dubine	1,62	0,94

3.6.3.3. Uzorkovanje tla u 2020. godini

Prvo mjerenje sadržaja organske tvari i organskog ugljika provedeno 2020. godine (Tablica 46) na lokalitetu Ivankaovo obuhvatilo je tri različita uzgojna sustava: kontrolu, konsocijaciju i voćnjak (orasi), s podacima prikupljenima iz dva sloja tla – površinskog (0–30 cm) i dubljeg (30–60 cm). U kontrolnom sustavu, zabilježene su najviše vrijednosti u oba sloja kao i ukupne vrijednosti. U sloju 0–30 cm sadržaj organske tvari iznosio je 2,54 %, a organskog ugljika 1,48 %, dok su u sloju 30–60 cm ti pokazatelji bili vrlo slični: 2,57 % za organsku tvar i 1,49 % za ugljik. Ukupno za obje dubine, prosječne vrijednosti iznosile su 2,56 % za organsku tvar i 1,49 % za organski ugljik. U sustavu konsocijacije sadržaj organske tvari i ugljika bio je nešto niži. U površinskom sloju (0–30 cm) izmjereno je 2,18 % organske tvari i 1,27 % ugljika, dok je u dubljem sloju (30–60 cm) vrijednost organske tvari bila 1,81 %, a ugljika 1,05 %. Prosječno gledano za obje dubine, vrijednosti su iznosile 2,00 % za organsku tvar i 1,16 % za organski ugljik. U voćnjaku (orasi) sadržaj organske tvari u sloju 0–30 cm iznosio je 2,00 %, a organskog

ugljika 1,16 %, dok su u sloju 30–60 cm ti pokazatelji bili niži – 1,55 % i 0,90 %. Ukupno za obje dubine, prosječne vrijednosti iznosile su 1,77 % za organsku tvar i 1,03 % za organski ugljik.

Usporedba rezultata mjerenja sadržaja organske tvari i organskog ugljika iz 2020. godine s onima iz 2019. godine na lokalitetu Ivanka pokazuje različite promjene među trima uzgojnim sustavima. U kontrolnom sustavu zabilježen je značajan porast sadržaja organske tvari i organskog ugljika u 2020. u odnosu na 2019. godinu. U sloju 0–30 cm, sadržaj organske tvari porastao je s 1,67 % na 2,54 %, a u sloju 30–60 cm s 1,56 % na 2,57 %. Ukupno gledano, vrijednost je porasla s 1,62 % na 2,56 %. Organski ugljik pratio je isti trend: u sloju 0–30 cm porast s 0,97 % na 1,48 %, a u dubljem sloju s 0,91 % na 1,49 %, sa ukupnim povećanjem s 0,94 % na 1,49 %. U konsocijacijskom sustavu, zabilježen je suprotan trend – smanjenje u svim slojevima u 2020. u usporedbi s 2019. godinom. Sadržaj organske tvari u sloju 0–30 cm smanjio se s 2,25 % na 2,18 %, dok je u sloju 30–60 cm pao s 1,91 % na 1,81 %. Ukupna vrijednost za obje dubine pala je s 2,08 % na 2,00 %. Organski ugljik također je pokazao pad: u sloju 0–30 cm s 1,31 % na 1,27 %, u sloju 30–60 cm s 1,11 % na 1,05 %, a ukupno s 1,21 % na 1,16 %. U voćnjaku pad vrijednosti između 2019. i 2020. bio je još izraženiji. Sadržaj organske tvari u površinskom sloju smanjen je s 2,41 % na 2,00 %, a u sloju 30–60 cm s 1,92 % na 1,55 %, što je rezultiralo ukupnim smanjenjem s 2,17 % na 1,77 %. Slično tome, organski ugljik se smanjio s 1,40 % na 1,16 % u sloju 0–30 cm, s 1,09 % na 0,90 % u dubljem sloju, te ukupno s 1,24 % na 1,03 %.

Tablica 46. Prikaz stanja organske tvari i organskog ugljika na različitim dubinama na lokalitetu Ivanka, tijekom 2020. godine

Redni broj	Broj uzorka	Sustav	Dubina	Organska tvar	Organski ugljik
1	1	Kontrola	0-30	2,34	1,36
2			30-60	2,65	1,54
3	2	Kontrola	0-30	2,17	1,26
4			30-60	2,55	1,48
5	3	Kontrola	0-30	2,97	1,73
6			30-60	2,17	1,26
7	4	Kontrola	0-30	2,69	1,56

Rezultati istraživanja					
8			30-60	2,90	1,69
Prosjek kontrola			0-30	2,54	1,48
			30-60	2,57	1,49
			Prosjek za obje dubine	2,56	1,49
9	5	Konsocijacija	0-30	2,24	1,30
10			30-60	2,83	1,65
11	6	Konsocijacija	0-30	2,17	1,26
12			30-60	1,86	1,08
13	7	Konsocijacija	0-30	2,38	1,38
14			30-60	2,17	1,26
15	8	Konsocijacija	0-30	2,07	1,20
16			30-60	1,38	0,80
17	9	Konsocijacija	0-30	2,17	1,26
18			30-60	1,48	0,86
19	10	Konsocijacija	0-30	2,14	1,24
20			30-60	1,45	0,84
21	11	Konsocijacija	0-30	2,10	1,22
22			30-60	1,69	0,98
23	12	Konsocijacija	0-30	2,17	1,26
24			30-60	1,62	0,94
Prosjek konsocijacija			0-30	2,18	1,27
			30-60	1,81	1,05
			Prosjek za obje dubine	2,00	1,16
25	13	Voćnjak (orasi)	0-30	2,10	1,22
26			30-60	1,48	0,86
27	14	Voćnjak (orasi)	0-30	2,14	1,24
28			30-60	1,52	0,88
29	15	Voćnjak (orasi)	0-30	2,48	1,44
30			30-60	1,31	0,76
31	16	Voćnjak (orasi)	0-30	1,28	0,74
32			30-60	1,97	1,15

Rezultati istraživanja					
33	17	Voćnjak	0-30	2,24	1,30
34		(orasi)	30-60	1,69	0,98
35	18	Voćnjak	0-30	1,97	1,15
36		(orasi)	30-60	1,21	0,70
37	19	Voćnjak	0-30	1,69	0,98
38		(orasi)	30-60	1,62	0,94
39	20	Voćnjak	0-30	2,07	1,20
40		(orasi)	30-60	1,59	0,92
Prosjek voćnjak (orasi)			0-30	2,00	1,16
			30-60	1,55	0,90
			Prosjek za obje dubine	1,77	1,03

3.6.3.4. Uzorkovanja tla u 2021. godini

Na lokalitetu Ivankovo tijekom 2021. godine provedena su četiri uzorkovanja tla s ciljem procjene sadržaja organske tvari i organskog ugljika u različitim uzgojnim sustavima. Tablica 47 prikazuje rezultate prvog mjerenja sadržaja organske tvari i organskog ugljika u tlu na lokalitetu Ivankovo tijekom 2021. godine, i to na dubinama 0–30 cm i 30–60 cm, u okviru triju sustava korištenja zemljišta: kontrola, konsocijacija i voćnjak (orasi). Rezultati pokazuju da je najveći sadržaj organske tvari u površinskom sloju (0–30 cm) zabilježen u voćnjaku (1,91 %), dok kontrola i konsocijacija imaju vrlo slične vrijednosti (1,87 % i 1,82 %). Slično je i s udjelom organskog ugljika, koji je u gornjem sloju bio najviši u kontroli (1,09 %), a tek neznatno niži u voćnjaku (1,08 %) i konsocijaciji (1,03 %). U dubljem sloju tla (30–60 cm) zabilježen je pad u vrijednostima. Najniži sadržaj organske tvari i ugljika u ovom sloju imala je konsocijacija (1,30 % i 0,75 %). Ukupno za obje dubine, sadržaj organske tvari i ugljika bio je najviši u voćnjaku (1,64 % i 0,94 %), zatim u kontroli (1,63 % i 0,94 %), dok su nešto niže vrijednosti zabilježene u konsocijaciji (1,56 % i 0,89 %).

Tablica 47. Prikaz stanja organske tvari i organskog ugljika na različitim dubinama na lokalitetu Ivankovo, tijekom prvog uzorkovanja 2021. godine

Redni broj	Broj uzorka	Sustav	Dubina	Organska tvar	Organski ugljik
1	1	Kontrola	0-30	1,66	0,97
2			30-60	1,41	0,82
3	2	Kontrola	0-30	2,07	1,20
4			30-60	1,10	0,64
5	3	Kontrola	0-30	1,76	1,02
6			30-60	1,79	1,04
7	4	Kontrola	0-30	2,00	1,16
8			30-60	1,21	0,70
Prosjek kontrola			0-30	1,87	1,09
			30-60	1,38	0,80
			Prosjek za obje dubine	1,63	0,94
9	5	Konsocijacija	0-30	1,79	1,04
10			30-60	1,79	1,04
11	6	Konsocijacija	0-30	1,10	0,64
12			30-60	1,14	0,66
13	7	Konsocijacija	0-30	1,90	1,11
14			30-60	1,14	0,66
15	8	Konsocijacija	0-30	1,83	1,06
16			30-60	0,90	0,52
17	9	Konsocijacija	0-30	2,00	1,16
18			30-60	1,52	0,88
19	10	Konsocijacija	0-30	1,93	0,89
20			30-60	1,07	0,62
21	11	Konsocijacija	0-30	1,97	1,15
22			30-60	1,59	0,92
23	12	Konsocijacija	0-30	2,03	1,18

Rezultati istraživanja					
24			30-60	1,24	0,72
Prosjek konsocijacija			0-30	1,82	1,03
			30-60	1,30	0,75
			Prosjek za obje dubine	1,56	0,89
25	13	Voćnjak	0-30	2,00	1,16
26		(orasi)	30-60	1,90	1,11
27	14	Voćnjak	0-30	1,83	1,06
28		(orasi)	30-60	1,31	0,76
29	15	Voćnjak	0-30	1,93	0,89
30		(orasi)	30-60	1,55	0,90
31	16	Voćnjak	0-30	1,86	1,08
32		(orasi)	30-60	1,10	0,64
33	17	Voćnjak	0-30	2,14	1,24
34		(orasi)	30-60	1,55	0,90
35	18	Voćnjak	0-30	1,79	1,04
36		(orasi)	30-60	1,00	0,58
37	19	Voćnjak	0-30	1,86	1,08
38		(orasi)	30-60	1,38	0,80
39	20	Voćnjak	0-30	1,83	1,06
40		(orasi)	30-60	1,17	0,68
Prosjek voćnjak (orasi)			0-30	1,91	1,08
			30-60	1,37	0,80
			Prosjek za obje dubine	1,64	0,94

Tablica 48 prikazuje rezultate drugog mjerenja sadržaja organske tvari i organskog ugljika u tlu na lokalitetu Ivankovo tijekom 2021. godine. U površinskom sloju (0–30 cm) najviši sadržaj organske tvari bio je zabilježen u voćnjaku (1,82 %), zatim je slijedila kontrola (1,78 %), dok je konsocijacija imala nešto nižu vrijednost (1,72 %). Kada je riječ o organskom ugljiku u istom sloju, vrijednosti su bile vrlo slične – najviša je bila kod kontrole (1,03 %), dok su voćnjak i konsocijacija bile na razini od 1,00 %. U dubljem sloju (30–60 cm) uočen je pad sadržaja organske tvari. Najvišu vrijednost u ovom sloju imala je kontrola (1,57 % organske tvari i 0,91

% organskog ugljika), dok su konsocijacija i voćnjak bili izjednačeni s 1,33 % organske tvari i 0,77 % ugljika. Ukupno za obje dubine, kontrolna površina pokazala je najviše vrijednosti (1,67 % organske tvari i 0,97 % ugljika), dok su voćnjak i konsocijacija imali nešto niže vrijednosti – 1,57 % i 1,52 % za organsku tvar, te 0,89 % i 0,88 % za organski ugljik.

Tablica 48. Prikaz stanja organske tvari i organskog ugljika na različitim dubinama na lokalitetu Ivanka, tijekom drugog uzorkovanja 2021. godine

Redni broj	Broj uzorka	Sustav	Dubina	Organska tvar	Organski ugljik
1	1	Kontrola	0-30	1,66	0,97
2			30-60	1,59	0,92
3	2	Kontrola	0-30	1,86	1,08
4			30-60	1,62	0,94
5	3	Kontrola	0-30	1,86	1,08
6			30-60	1,52	0,88
7	4	Kontrola	0-30	1,72	1,00
8			30-60	1,55	0,90
Prosjek kontrola			0-30	1,78	1,03
			30-60	1,57	0,91
			Prosjek za obje dubine	1,67	0,97
9	5	Konsocijacija	0-30	1,79	1,04
10			30-60	1,28	0,74
11	6	Konsocijacija	0-30	1,66	0,97
12			30-60	1,31	0,76
13	7	Konsocijacija	0-30	1,62	0,94
14			30-60	1,59	0,92
15	8	Konsocijacija	0-30	1,69	0,98
16			30-60	1,22	0,71
17	9	Konsocijacija	0-30	1,83	1,06
18			30-60	1,24	0,72
19	10	Konsocijacija	0-30	1,63	0,95

Rezultati istraživanja					
20			30-60	1,31	0,76
21	11	Konsocijacija	0-30	1,72	1,00
22			30-60	1,24	0,72
23	12	Konsocijacija	0-30	1,83	1,06
24			30-60	1,41	0,82
Prosjek konsocijacija			0-30	1,72	1,00
			30-60	1,33	0,77
			Prosjek za obje dubine	1,52	0,88
25	13	Voćnjak (orasi)	0-30	1,93	0,89
26			30-60	1,34	0,78
27	14	Voćnjak (orasi)	0-30	1,72	1,00
28			30-60	1,41	0,82
29	15	Voćnjak (orasi)	0-30	1,93	0,89
30			30-60	1,28	0,74
31	16	Voćnjak (orasi)	0-30	1,86	1,08
32			30-60	1,38	0,80
33	17	Voćnjak (orasi)	0-30	1,72	1,00
34			30-60	1,17	0,68
35	18	Voćnjak (orasi)	0-30	1,66	0,97
36			30-60	1,31	0,76
37	19	Voćnjak (orasi)	0-30	1,76	1,02
38			30-60	1,31	0,76
39	20	Voćnjak (orasi)	0-30	1,97	1,15
40			30-60	1,41	0,82
Prosjek voćnjak (orasi)			0-30	1,82	1,00
			30-60	1,33	0,77
			Prosjek za obje dubine	1,57	0,89

Tablica 49 prikazuje rezultate trećeg mjerenja organske tvari i organskog ugljika u tlu na lokalitetu Ivankaovo tijekom 2021. godine. U površinskom sloju (0–30 cm) najviši sadržaj organske tvari zabilježen je u voćnjaku (1,77 %), slijedila je konsocijacija (1,66 %) te na poslijetku kontrola (1,51 %). Sličan redoslijed bio je i kod sadržaja organskog ugljika – voćnjak je imao najvišu vrijednost (1,03 %), zatim je slijedila konsocijacija (0,97 %) te na poslijetku kontrola (0,88 %). U dubljem sloju (30–60 cm), voćnjak je i dalje imao najviši sadržaj organske tvari (1,65 %) i ugljika (0,96 %). Slijedila je konsocijacija s 1,44 % organske tvari i 0,84 % ugljika, dok je kontrola imala najniže vrijednosti (1,41 % i 0,82 %). Kada se promatra prosjek za obje dubine, voćnjak je imao najveći ukupni sadržaj organske tvari (1,71 %) i organskog ugljika (1,00 %), slijedila je konsocijacija (1,55 % i 0,90 %), dok je kontrola pokazala najniže ukupne vrijednosti (1,46 % i 0,85 %).

Tablica 49. Prikaz stanja organske tvari i organskog ugljika na različitim dubinama na lokalitetu Ivankaovo, tijekom trećeg uzorkovanja 2021. godine

Redni broj	Broj uzorka	Sustav	Dubina	Organska tvar	Organski ugljik
1	1	Kontrola	0-30	1,45	0,84
2			30-60	1,38	0,80
3	2	Kontrola	0-30	1,52	0,88
4			30-60	1,38	0,80
5	3	Kontrola	0-30	1,48	0,86
6			30-60	1,34	0,78
7	4	Kontrola	0-30	1,59	0,92
8			30-60	1,52	0,88
Prosjek kontrola			0-30	1,51	0,88
			30-60	1,41	0,82
			Prosjek za obje dubine	1,46	0,85
9	5	Konsocijacija	0-30	1,79	1,04
10			30-60	1,48	0,86
11	6	Konsocijacija	0-30	1,38	0,80
12			30-60	1,07	0,62

Rezultati istraživanja					
13	7	Konsocijacija	0-30	1,72	1,00
14			30-60	1,59	0,92
15	8	Konsocijacija	0-30	1,52	0,88
16			30-60	1,38	0,80
17	9	Konsocijacija	0-30	2,00	1,16
18			30-60	1,48	0,86
19	10	Konsocijacija	0-30	1,55	0,90
20			30-60	1,41	0,82
21	11	Konsocijacija	0-30	1,76	1,02
22			30-60	1,62	0,94
23	12	Konsocijacija	0-30	1,59	0,92
24			30-60	1,52	0,88
Prosjek konsocijacija			0-30	1,66	0,97
			30-60	1,44	0,84
			Prosjek za obje dubine	1,55	0,90
25	13	Voćnjak (orasi)	0-30	1,9	1,11
26			30-60	1,55	0,90
27	14	Voćnjak (orasi)	0-30	1,48	0,86
28			30-60	1,34	0,78
29	15	Voćnjak (orasi)	0-30	1,69	0,98
30			30-60	1,59	0,92
31	16	Voćnjak (orasi)	0-30	1,59	0,92
32			30-60	1,55	0,90
33	17	Voćnjak (orasi)	0-30	2,00	1,16
34			30-60	1,79	1,04
35	18	Voćnjak (orasi)	0-30	1,59	0,92
36			30-60	1,45	0,84
37	19	Voćnjak (orasi)	0-30	2,28	1,33
38			30-60	2,52	1,47
39	20	Voćnjak (orasi)	0-30	1,66	0,97
40			30-60	1,41	0,82
Prosjek voćnjak (orasi)			0-30	1,77	1,03

Rezultati istraživanja			
	30-60	1,65	0,96
	Prosjeak za obje dubine	1,71	1,00

Tablica 50 prikazuje rezultate četvrtog mjerenja organske tvari i organskog ugljika u tlu na lokalitetu Ivankovo tijekom 2021. godine. U površinskom sloju (0–30 cm), najviši sadržaj organske tvari i ugljika ponovno je zabilježen u voćnjaku, s vrijednostima od 1,88 % organske tvari i 1,09 % organskog ugljika. Slijedila je konsocijacija s 1,70 % i 0,99 %, dok je kontrola imala najniže vrijednosti organske tvari i ugljika – 1,56 % i 0,91 %. U dubljem sloju (30–60 cm) trend se ponavljao, iako su razlike bile nešto manje izražene. Voćnjak je imao najviše vrijednosti s 1,56 % organske tvari i 0,91 % ugljika, a kontrola i konsocijacija su bilježile slične vrijednosti (kontrola: 1,49 % i 0,87 %, konsocijacija: 1,44 % i 0,83 %). Ukupno za obje dubine, voćnjak je i dalje pokazao najpovoljnije vrijednosti s prosječno 1,72 % organske tvari i 1,00 % organskog ugljika, zatim je slijedila konsocijacija (1,57 % i 0,91 %), dok je kontrola imala najniže vrijednosti (1,53 % i 0,89 %).

Usporedbom rezultata mjerenja organske tvari i organskog ugljika u tlu između 2020. i 2021. godine na lokalitetu Ivankovo, uočeno je smanjenje sadržaja oba parametra, u svim uzgojnim sustavima. Kod kontrolne površine, ukupni sadržaj organske tvari za obje dubine smanjen je s 2,56 % (2020.) na 1,53 % (2021.), dok je organski ugljik pao s 1,49 % na 0,89 %. Slično trend zabilježen je i kod konsocijacije, gdje je sadržaj organske tvari bio smanjen s 2,00 % na 1,57 %, a organskog ugljika s 1,16 % na 0,91 %. U voćnjaku, iako je smanjenje bilo nešto manje, također je prisutno – ukupna organska tvar pala je s 1,77 % na 1,72 %, dok je organski ugljik smanjen s 1,03 % na 1,00 %. Između 2020. i 2021. godine na svim promatranim površinama došlo je do smanjenja organske tvari i organskog ugljika u tlu.

Tablica 50. Prikaz stanja organske tvari i organskog ugljika na različitim dubinama na lokalitetu Ivankovo, tijekom četvrtog uzorkovanja 2021. godine.

Redni broj	Broj uzorka	Sustav	Dubina	Organska tvar	Organski ugljik
1	1	Kontrola	0-30	1,52	0,88
2			30-60	1,48	0,86
3	2	Kontrola	0-30	1,45	0,84
4			30-60	1,52	0,88

Rezultati istraživanja					
5	3	Kontrola	0-30	1,66	0,97
6			30-60	1,59	0,92
7	4	Kontrola	0-30	1,62	0,94
8			30-60	1,38	0,80
Prosjeck kontrola			0-30	1,56	0,91
			30-60	1,49	0,87
			Prosjeck za obje dubine	1,53	0,89
9	5	Konsocijacija	0-30	1,72	1,00
10			30-60	1,72	1,00
11	6	Konsocijacija	0-30	1,48	0,86
12			30-60	1,14	0,66
13	7	Konsocijacija	0-30	1,90	1,11
14			30-60	1,66	0,97
15	8	Konsocijacija	0-30	1,48	0,86
16			30-60	1,14	0,66
17	9	Konsocijacija	0-30	1,90	1,11
18			30-60	1,69	0,98
19	10	Konsocijacija	0-30	1,52	0,88
20			30-60	1,07	0,62
21	11	Konsocijacija	0-30	2,00	1,16
22			30-60	1,76	1,02
23	12	Konsocijacija	0-30	1,59	0,92
24			30-60	1,31	0,76
Prosjeck konsocijacija			0-30	1,70	0,99
			30-60	1,44	0,83
			Prosjeck za obje dubine	1,57	0,91
25	13	Voćnjak (orasi)	0-30	2,00	1,16
26			30-60	1,83	1,06
27	14	Voćnjak (orasi)	0-30	1,72	1,00
28			30-60	1,24	0,72
29	15		0-30	1,97	1,15

Rezultati istraživanja

30		Voćnjak (orasi)	30-60	1,83	1,06
31	16	Voćnjak	0-30	1,83	1,06
32		(orasi)	30-60	1,41	0,82
33	17	Voćnjak	0-30	2,31	1,34
34		(orasi)	30-60	1,66	0,97
35	18	Voćnjak	0-30	1,83	1,06
36		(orasi)	30-60	1,41	0,82
37	19	Voćnjak	0-30	1,79	1,04
38		(orasi)	30-60	1,72	1,00
39	20	Voćnjak	0-30	1,62	0,94
40		(orasi)	30-60	1,41	0,82
Prosjek voćnjak (orasi)			0-30	1,88	1,09
			30-60	1,56	0,91
			Prosjek za obje dubine	1,72	1,00

3.6.3.5. Uzorkovanja tla u 2022. godini

Na lokalitetu u Ivankovu tijekom 2022. godine tlo je uzorkovano tri puta, kako bi se pratila sezonska varijabilnost u sadržaju organskog ugljika i drugih relevantnih svojstava tla.

Tablica 51 prikazuje sadržaj organske tvari i organskog ugljika u tlu tijekom prvog mjerenja 2022. godine na lokalitetu Ivankovo. Kod kontrolne površine, sadržaj organske tvari u gornjem sloju tla (0–30 cm) iznosila je 1,82 %, a u dubljem sloju (30–60 cm) 1,67 %, što daje prosjek za obje dubine od 1,75 %. Sličan trend vidljiv je i kod organskog ugljika, gdje su vrijednosti iznosile 1,06 % u površinskom sloju, 0,97 % u dubljem sloju i ukupno 1,02 %.

Kod konsocijacije vrijednosti su bile nešto više: organska tvar iznosila je 1,97 % (0–30 cm), 1,80 % (30–60 cm) i 1,89 % ukupno. Organski ugljik na istoj površini iznosio je 1,12 %, 1,05 % i ukupno 1,08 %, što ukazuje na blagi porast u odnosu na kontrolu. Najveće vrijednosti zabilježene su u voćnjaku gdje je sadržaj organske tvari u površinskom sloju iznosio 2,31 %, dok je u dubljem sloju iznosio 1,72 %, a ukupno 2,02 %. Organski ugljik iznosio je 1,35 %, 1,01 % i ukupno 1,18 %.

Tablica 51. Prikaz stanja organske tvari i organskog ugljika na različitim dubinama na lokalitetu Ivankovo, tijekom prvog uzorkovanja 2022. godine

Redni broj	Broj uzorka	Sustav	Dubina	Organska tvar	Organski ugljik
1	1	Kontrola	0-30	1,84	1,07
2			30-60	1,75	1,02
3	2	Kontrola	0-30	1,86	1,08
4			30-60	1,54	0,90
5	3	Kontrola	0-30	1,60	0,93
6			30-60	1,75	1,02
7	4	Kontrola	0-30	1,98	1,15
8			30-60	1,64	0,95
Prosjek kontrola			0-30	1,82	1,06
			30-60	1,67	0,97
			Prosjek za obje dubine	1,75	1,02
9	5	Konsocijacija	0-30	1,84	1,07
10			30-60	1,70	0,99
11	6	Konsocijacija	0-30	2,05	1,19
12			30-60	1,79	1,04
13	7	Konsocijacija	0-30	2,57	1,49
14			30-60	1,97	1,15
15	8	Konsocijacija	0-30	1,84	1,07
16			30-60	1,74	1,01
17	9	Konsocijacija	0-30	1,79	1,04
18			30-60	1,77	1,03
19	10	Konsocijacija	0-30	1,70	0,99
20			30-60	1,68	0,98
21	11	Konsocijacija	0-30	1,93	0,89
22			30-60	1,88	1,09
23	12	Konsocijacija	0-30	2,05	1,19

Rezultati istraživanja					
24			30-60	1,90	1,11
Prosjeckonsocijacija			0-30	1,97	1,12
			30-60	1,80	1,05
			Prosjek za obje dubine	1,89	1,08
25	13	Voćnjak	0-30	2,72	1,58
26		(orasi)	30-60	1,78	1,04
27	14	Voćnjak	0-30	1,84	1,07
28		(orasi)	30-60	1,54	0,90
29	15	Voćnjak	0-30	2,84	1,65
30		(orasi)	30-60	1,96	1,14
31	16	Voćnjak	0-30	1,85	1,08
32		(orasi)	30-60	1,61	0,94
Prosjek voćnjak (orasi)			0-30	2,31	1,35
			30-60	1,72	1,01
			Prosjek za obje dubine	2,02	1,18

Tablica 52 prikazuje sadržaj organske tvari i organskog ugljika tla na lokalitetu Ivankovo, a uzorci su prikupljeni tokom 2022. godine. Na kontrolnoj površini, sadržaj organske tvari iznosio je 1,74 % u površinskom sloju te 1,78 % u dubljem sloju, s prosječnom vrijednosti za obje dubine od 1,76 %. Vrijednosti organskog ugljika iznosile su 1,01 %, 1,04 % te ukupno 1,02 %. Kod konsocijacije zabilježeno je povećanje u odnosu na kontrolu: 2,00 % organske tvari na dubini 0–30 cm i 1,81 % na 30–60 cm, s prosjekom 1,91 %. Vrijednosti organskog ugljika iznosile su 1,14 %, 1,05 % i ukupno 1,10 %. Najviši sadržaj organske tvari i organskog ugljika zabilježen je u voćnjaku. U površinskom sloju (0–30 cm) izmjereno je 2,18 % organske tvari i 1,21 % organskog ugljika, dok je u sloju 30–60 cm vrijednost organske tvari 2,06 %, a ugljika 1,20 %, s ukupnim prosjekom od 2,12 % za organsku tvar i 1,20 % za organski ugljik.

Tablica 52. Prikaz stanja organske tvari i organskog ugljika na različitim dubinama na lokalitetu Ivankovo, tijekom drugog uzorkovanja 2022. godine

Redni broj	Broj uzorka	Sustav	Dubina	Organska tvar	Organski ugljik
1	1	Kontrola	0-30	1,72	1,00
2			30-60	1,79	1,04
3	2	Kontrola	0-30	1,66	0,97
4			30-60	1,79	1,04
5	3	Kontrola	0-30	1,80	1,05
6			30-60	1,90	1,11
7	4	Kontrola	0-30	1,76	1,02
8			30-60	1,65	0,96
Prosjek kontrola			0-30	1,74	1,01
			30-60	1,78	1,04
			Prosjek za obje dubine	1,76	1,02
9	5	Konsocijacija	0-30	1,89	1,10
10			30-60	2,00	1,16
11	6	Konsocijacija	0-30	1,83	1,06
12			30-60	1,77	1,03
13	7	Konsocijacija	0-30	1,93	0,89
14			30-60	1,72	1,00
15	8	Konsocijacija	0-30	2,10	1,22
16			30-60	1,86	1,08
17	9	Konsocijacija	0-30	1,86	1,08
18			30-60	1,83	1,06
19	10	Konsocijacija	0-30	2,10	1,22
20			30-60	2,03	1,18
21	11	Konsocijacija	0-30	2,11	1,23
22			30-60	1,66	0,97
23	12	Konsocijacija	0-30	2,20	1,32

Rezultati istraživanja					
24			30-60	1,62	0,94
Prosjek konsocijacija			0-30	2,00	1,14
			30-60	1,81	1,05
			Prosjek za obje dubine	1,91	1,10
25	13	Voćnjak (orasi)	0-30	1,93	0,89
26			30-60	2,24	1,30
27	14	Voćnjak (orasi)	0-30	2,38	1,38
28			30-60	2,10	1,22
29	15	Voćnjak (orasi)	0-30	2,27	1,32
30			30-60	2,03	1,18
31	16	Voćnjak (orasi)	0-30	2,14	1,24
32			30-60	1,86	1,08
Prosjek voćnjak (orasi)			0-30	2,18	1,21
			30-60	2,06	1,20
			Prosjek za obje dubine	2,12	1,20

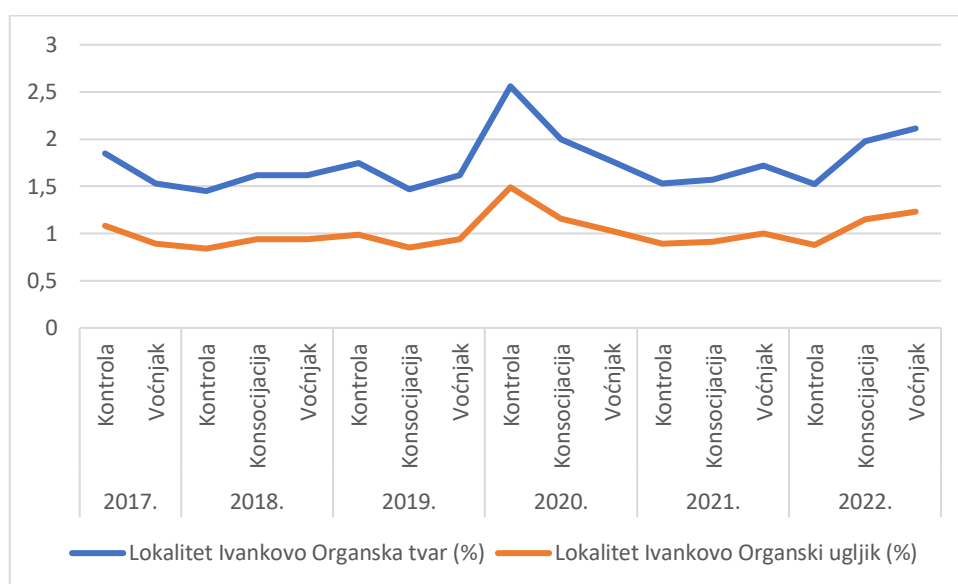
Tablica 53 prikazuje rezultate trećeg mjerenja organske tvari i organskog ugljika provedenog 2022. godine na lokalitetu Ivankovo. U kontroli izmjeren je sadržaj organske tvari od 1,67 % u gornjem sloju i 1,37 % u dubljem sloju, s ukupnim prosjekom od 1,52 %. Istovremeno, vrijednosti organskog ugljika iznosile su 0,97 %, 0,80 % i ukupno 0,88 %, što ukazuje na umjereno nizak sadržaj organske komponente u tlu. U konsocijaciji zabilježen je porast u svim vrijednostima. Organska tvar u gornjem sloju iznosila je 2,16 %, dok je u dubljem sloju iznosila 1,79 %, s ukupnim prosjekom od 1,98 %. Sadržaj organskog ugljika iznosio je 1,26 %, 1,04 % i prosječnih 1,15 %. Najveće vrijednosti zabilježene su u voćnjaku. U sloju 0–30 cm izmjeren je sadržaj organske tvari od 2,31 %, a u sloju 30–60 cm 1,91 %, dok je ukupan prosjek iznosio 2,11 %. Slično je i s organskim ugljikom: 1,35 %, 1,11 %, ukupno 1,23 %. Usporedba podataka između prvog uzorkovanja 2021. godine i trećeg uzorkovanja 2022. godine na lokalitetu Ivankovo pokazuje značajne promjene u sadržaju organske tvari i organskog ugljika u sva tri sustava. U kontroli sadržaj organske tvari u sloju 0–30 cm smanjen je s 1,87 % na 1,67 %, dok je u sloju 30–60 cm gotovo ostao isti (1,38 % u 2021. i 1,37 % u 2022.). Ukupno za obje dubine, sadržaj organske tvari je pao s 1,63 % na 1,52 %, a organskog ugljika s 0,94 % na 0,88 %. S

druge strane, kod konsocijacije, sadržaj organske tvari značajno je porastao: u sloju 0–30 cm s 1,82 % na 2,16 %, a u sloju 30–60 cm s 1,30 % na 1,79 %. Ukupno gledano, organska tvar povećana je s 1,56 % na 1,98 %, a organski ugljik s 0,89 % na 1,15 %. U voćnjaku također je uočen porast vrijednosti: organska tvar u sloju 0–30 cm porasla je s 1,91 % na 2,31 %, a u sloju 30–60 cm s 1,37 % na 1,91 %. Ukupno za obje dubine, sadržaj organske tvari povećan je s 1,64 % na 2,11 %, a organskog ugljika s 0,94 % na 1,23 %.

Tablica 53. Prikaz stanja organske tvari i organskog ugljika na različitim dubinama na lokalitetu Ivankovo, tijekom trećeg uzorkovanja 2022. godine

Redni broj	Broj uzorka	Sustav	Dubina	Organska tvar	Organski ugljik
1	1	Kontrola	0-30	1,59	0,92
2			30-60	1,34	0,78
3	2	Kontrola	0-30	1,65	0,96
4			30-60	1,44	0,84
5	3	Kontrola	0-30	1,65	0,96
6			30-60	1,28	0,74
7	4	Kontrola	0-30	1,79	1,04
8			30-60	1,41	0,82
Prosjek kontrola			0-30	1,67	0,97
			30-60	1,37	0,80
			Prosjek za obje dubine	1,52	0,88
9	5	Konsocijacija	0-30	1,86	1,08
10			30-60	1,55	0,90
11	6	Konsocijacija	0-30	2,07	1,20
12			30-60	1,45	0,84
13	7	Konsocijacija	0-30	1,90	1,11
14			30-60	1,58	0,92
15	8	Konsocijacija	0-30	2,14	1,24
16			30-60	1,78	1,04
17	9	Konsocijacija	0-30	2,07	1,20

Rezultati istraživanja					
18			30-60	1,82	1,06
19	10	Konsocijacija	0-30	2,03	1,18
20			30-60	1,72	1,00
21	11	Konsocijacija	0-30	2,30	1,34
22			30-60	2,31	1,34
23	12	Konsocijacija	0-30	2,90	1,69
24			30-60	2,14	1,24
Prosjek konsocijacija			0-30	2,16	1,26
			30-60	1,79	1,04
			Prosjek za obje dubine	1,98	1,15
25	13	Voćnjak (orasi)	0-30	2,34	1,36
26			30-60	2,10	1,22
27	14	Voćnjak (orasi)	0-30	2,30	1,34
28			30-60	1,92	1,12
29	15	Voćnjak (orasi)	0-30	2,30	1,34
30			30-60	1,86	1,08
31	16	Voćnjak (orasi)	0-30	2,31	1,34
32			30-60	1,76	1,02
Prosjek voćnjak (orasi)			0-30	2,31	1,35
			30-60	1,91	1,11
			Prosjek za obje dubine	2,11	1,23



Grafikon 7. Prikaz kretanja prosječnih vrijednosti sadržaja organske tvari i organskog ugljika na lokalitetu Ivankaovo

Promatrajući promjene u organskoj tvari i organskom ugljiku na lokalitetu Ivankaovo (Grafikon 7) kroz petogodišnje razdoblje, može se uočiti dinamika koja se razlikuje među promatranim tretmanima. Kontrolni tretman pokazuje oscilacije s blago opadajućim trendom u sredini promatranog razdoblja, nakon čega slijedi privremeno povećanje, da bi se na kraju vrijednosti stabilizirale na umjerenijoj razini. Tretmani s voćnjakom i konsocijacijom pokazuju nešto drugačiji obrazac; voćnjak pokazuje početno smanjenje, ali s postupnim porastom prema kraju razdoblja. Vrijednosti na konsocijaciji se također mijenjaju s blagim fluktuacijama, ali s izraženijim rastom prema kraju promatranog razdoblja. Općenito, i organska tvar i organski ugljik prate sličnu dinamiku.

3.6.3.6. Zalihe i sekvestracija ugljika u tlu na lokalitetu Ivankaovo

U tablicama 54 i 55 prikazani su izračuni zaliha ugljika u tlu te njihov ukupan pregled po uzgojnim sustavima na lokalitetu Ivankaovo za razdoblje od 2017. do 2022. godine. Tablica 54 sadrži detaljne podatke o zalihama ugljika izraženima u tonama po hektaru, koji su izračunati na temelju izmjerenih koncentracija organskog ugljika, gustoće tla i dubine uzorkovanja. Svaki uzgojni sustav (kontrola, konsocijacija i voćnjak) promatran je kroz više godina, omogućujući praćenje promjena u zalihama ugljika tijekom vremena.

Tablica 54. Pregled izračuna zaliha ugljika na lokalitetu Ivankovo u periodu 2017.-2022.

2017. godina
Kontrola:
$CS = 0,92 \times 1,54 \text{ g cm}^{-3} \times 60 \text{ cm} \times 100 = 8500,80 \text{ kg C ha}^{-1}/1000 = \mathbf{8,50 \text{ t C ha}^{-1}}$
Voćnjak (orasi):
$CS = 0,88 \times 1,54 \text{ g cm}^{-3} \times 60 \text{ cm} \times 100 = 8131,20 \text{ kg C ha}^{-1}/1000 = \mathbf{8,13 \text{ t C ha}^{-1}}$
2018. godina
Kontrola:
$CS = 0,84 \times 1,54 \text{ g cm}^{-3} \times 60 \text{ cm} \times 100 = 7761,60 \text{ kg C ha}^{-1}/1000 = \mathbf{7,76 \text{ t C ha}^{-1}}$
Konsocijacija:
$CS = 0,94 \times 1,54 \text{ g cm}^{-3} \times 60 \text{ cm} \times 100 = 8685,60 \text{ kg C ha}^{-1}/1000 = \mathbf{8,69 \text{ t C ha}^{-1}}$
Voćnjak (orasi):
$CS = 0,94 \times 1,54 \text{ g cm}^{-3} \times 60 \text{ cm} \times 100 = 8685,60 \text{ kg C ha}^{-1}/1000 = \mathbf{8,69 \text{ t C ha}^{-1}}$
2019. godina
Kontrola:
$CS = 0,99 \times 1,54 \text{ g cm}^{-3} \times 60 \text{ cm} \times 100 = 9147,60 \text{ kg C ha}^{-1}/1000 = \mathbf{9,15 \text{ t C ha}^{-1}}$
Konsocijacija:
$CS = 0,85 \times 1,54 \text{ g cm}^{-3} \times 60 \text{ cm} \times 100 = 7854 \text{ kg C ha}^{-1}/1000 = \mathbf{7,85 \text{ t C ha}^{-1}}$
Voćnjak (orasi):
$CS = 0,94 \times 1,54 \text{ g cm}^{-3} \times 60 \text{ cm} \times 100 = 8685,60 \text{ kg C ha}^{-1}/1000 = \mathbf{8,69 \text{ t C ha}^{-1}}$
2020. godina
Kontrola:
$CS = 1,49 \times 1,54 \text{ g cm}^{-3} \times 60 \text{ cm} \times 100 = 13767,60 \text{ kg C ha}^{-1}/1000 = \mathbf{13,77 \text{ t C ha}^{-1}}$
Konsocijacija:
$CS = 1,16 \times 1,54 \text{ g cm}^{-3} \times 60 \text{ cm} \times 100 = 10718,40 \text{ kg C ha}^{-1}/1000 = \mathbf{10,72 \text{ t C ha}^{-1}}$
Voćnjak (orasi):
$CS = 1,03 \times 1,54 \text{ g cm}^{-3} \times 60 \text{ cm} \times 100 = 9517,20 \text{ kg C ha}^{-1}/1000 = \mathbf{9,52 \text{ t C ha}^{-1}}$
2021. godina
Kontrola:
$CS = 0,89 \times 1,54 \text{ g cm}^{-3} \times 60 \text{ cm} \times 100 = 8223,60 \text{ kg C ha}^{-1}/1000 = \mathbf{8,22 \text{ t C ha}^{-1}}$
Konsocijacija:

$CS = 0,91 \times 1,54 \text{ g cm}^{-3} \times 60 \text{ cm} \times 100 = 8408,40 \text{ kg C ha}^{-1}/1000 = \mathbf{8,41 \text{ t C ha}^{-1}}$
Voćnjak (orasi): $CS = 1,00 \times 1,54 \text{ g cm}^{-3} \times 60 \text{ cm} \times 100 = 9240 \text{ kg C ha}^{-1}/1000 = \mathbf{9,24 \text{ t C ha}^{-1}}$
2022. godina
Kontrola: $CS = 0,88 \times 1,54 \text{ g cm}^{-3} \times 60 \text{ cm} \times 100 = 8131,20 \text{ kg C ha}^{-1}/1000 = \mathbf{8,13 \text{ t C ha}^{-1}}$
Konsocijacija: $CS = 1,15 \times 1,54 \text{ g cm}^{-3} \times 60 \text{ cm} \times 100 = 10626 \text{ kg C ha}^{-1}/1000 = \mathbf{10,63 \text{ t C ha}^{-1}}$
Voćnjak (orasi): $CS = 1,23 \times 1,54 \text{ g cm}^{-3} \times 60 \text{ cm} \times 100 = 11365,20 \text{ kg C ha}^{-1}/1000 = \mathbf{11,37 \text{ t C ha}^{-1}}$

Tablica 55 pruža sažet i usporedan pregled ukupnih zaliha ugljika po godinama i sustavima, olakšavajući analizu trenda sekvestracije ugljika u tlu. Na temelju ovih podataka moguće je utvrditi koji sustav uzgoja najviše doprinosi akumulaciji ugljika, a time i poboljšanju kvalitete tla te mitigaciji klimatskih promjena kroz sekvestraciju ugljika iz atmosfere.

Tablica 55. Zalihe ugljika u tlu, na lokalitetu Ivankovo tijekom 5 godina istraživanja

Uzgojni sustav	Godina	Zaliha ugljika (t C ha^{-1})
KONTROLA	2017.	8,50 t C ha^{-1}
	2018.	7,76 t C ha^{-1}
	2019.	9,15 t C ha^{-1}
	2020.	13,77 t C ha^{-1}
	2021.	8,22 t C ha^{-1}
	2022.	8,13 t C ha^{-1}
KONSOCIJACIJA	2018.	8,69 t C ha^{-1}
	2019.	7,85 t C ha^{-1}
	2020.	10,72 t C ha^{-1}
	2021.	8,41 t C ha^{-1}
	2022.	10,63 t C ha^{-1}
VOĆNJAK (ORAH)	2017.	8,13 t C ha^{-1}
	2018.	8,69 t C ha^{-1}

	2019.	8,69 t C ha ⁻¹
	2020.	9,52 t C ha ⁻¹
	2021.	9,24 t C ha ⁻¹
	2022.	11,37 t C ha ⁻¹



Grafikon 8. Prikaz sekvestracije na lokalitetu Ivankovo

Usporedba promjena sadržaja organskoga ugljika u tlu tijekom petogodišnjeg razdoblja u različitim uzgojnim sustavima (Grafikon 8) – kontrola, konsocijacija i voćnjak (orasi) – prikazala je različite dinamike sekvestracije ugljika. U kontrolnom sustavu zabilježene su značajne fluktuacije sadržaja ugljika, s pozitivnim porastima u pojedinim godinama (npr. 4,62 t C ha⁻¹ između 2019. i 2020. godine), ali i izraženim gubicima (npr. -5,55 t C ha⁻¹ između 2020. i 2021. godine), što je rezultiralo ukupnim smanjenjem organskog ugljika od -0,37 t C ha⁻¹ kroz promatrano razdoblje. Sustav konsocijacije pokazao je povoljniji trend, s ukupnim povećanjem od 1,94 t C ha⁻¹. Iako su i ovdje prisutne oscilacije (posebno pad u 2021. godini od -2,31 t C ha⁻¹), ipak, ukupna bilanca je bila pozitivna. Najstabilniji i najuspješniji u pogledu sekvestracije bio je sustav voćnjaka, u kojem je zabilježen stalan i relativno stabilan porast organskog ugljika, s ukupnim povećanjem od 3,24 t C ha⁻¹.

3.6.3.7. Emisije CO₂ na lokalitetu Ivankovo

Za izračun emisije ugljičnog dioksida (CO₂) korišteni su podaci o potrošnji dizelskog goriva traktora tijekom obavljanja svih agrotehničkih mjera koje su se provodile u jednoj godini na

lokalitetu Ivankovo. Godišnja potrošnja dizela za navedene aktivnosti iznosila je prosječno 72 litre po hektaru. S obzirom na ukupnu površinu pokusnog polja u Ivankovu (38,61 ha), i to kontrola 34,26 ha, konsocijacija 1 ha te voćnjak 3,35 ha, izračunata je godišnja potrošnja od ukupno 2779,92 litre dizela za provedbu svih potrebnih agrotehničkih mjera. Budući da istraživanje traje pet godina, ukupna potrošnja dizela tijekom cijelog trajanja istraživanja iznosila je 13899,60 litara dizela. Godišnja potrošnja u litrama preračunata je u metre kubne, što je uobičajena mjera za daljnje izračune emisije CO₂, te je iznosila 139 m³ dizela. Ova količina goriva upotrebljena je kao osnova za izračun ukupne emisije CO₂ povezanih s radom traktora na ovoj lokaciji tijekom cijelog razdoblja istraživanja.

Nakon izračunate količine dizelskog goriva utrošenog tijekom svih pet godina istraživanja, dobivena vrijednost od 13,90 m³ dizela koristila se kao ulazni podatak za daljnji izračun emisija CO₂. U tu svrhu, primijenjena je službena metoda izračuna emisija, preuzeta iz Pravilnika o registru onečišćavanja okoliša (NN 8/2013). Ova formula omogućila je standardiziran proračun količine emitiranog ugljičnog dioksida na temelju volumena potrošenog goriva, čime se osigurava usporedivost i točnost rezultata u skladu s važećim zakonodavstvom Republike Hrvatske.

$$\text{Emisije CO}_2 = \text{Podaci o djelatnosti} * \text{Emisijski faktor} * \text{Oksidacijski faktor}$$

Podaci o aktivnosti izraženi su kao neto energetska sadržaj goriva utrošenog u određenom vremenskom razdoblju. Neto kalorijska vrijednost goriva propisana je u Pravilniku o registru onečišćavanja okoliša (NN 8/2013). Podaci o aktivnosti izračunati su primjenom sljedeće formule:

$$\begin{aligned} \text{Energetski sadržaj utroška goriva [TJ]} &= \text{potrošeno gorivo [Nm}^3\text{]} * \text{neto kalorična vrijednost} \\ \text{goriva [TJ/Nm}^3\text{]} &= 13,90 \text{ Nm}^3 \times 43,0 = 597,70 \text{ t CO}_2/\text{Nm}^3 \end{aligned}$$

Odnosno za svaki tretman posebno:

$$\text{Emisije CO}_2 = 106,07 \text{ t CO}_2/\text{Nm}^3 * 74,0 \text{ t CO}_2/\text{TJ} * 1,0 = 7849,18 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ god [kontrolni tretman]}$$

$$\text{Emisije CO}_2 = 3,10 \text{ t CO}_2/\text{Nm}^3 * 74,0 \text{ t CO}_2/\text{TJ} * 1,0 = 229,40 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ god [konsocijacijski tretman]}$$

$$\text{Emisije CO}_2 = 10,37 \text{ t CO}_2/\text{Nm}^3 * 74,0 \text{ t CO}_2/\text{TJ} * 1,0 = 767,50 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ god [voćnjak]}$$

Nakon dobivene vrijednosti „podaci o djelatnosti“ svi preostali podaci su se uvrstili u gore navedenu formulu kako bi se dobile ukupne emisije CO₂, za svaki tretman i svih 5 godina:

$$\text{Emisije CO}_2 = 597,70 \text{ t CO}_2/\text{Nm}^3 * 74,0 \text{ t CO}_2/\text{TJ} * 1,0 = \mathbf{44229,80 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ god}}$$

4. RASPRAVA

4.1. Osnovna agrokemijska svojstva tla na lokalitetu Đakovo i Ivankovo

Analiza rezultata na lokalitetu Đakovo pokazala je da većina uzoraka pripada kategoriji kiselih tala, pri čemu dominiraju vrijednosti koje ukazuju na izraženiju kiselost. Sličan trend uočen je i na lokalitetu Ivankovo, gdje također prevladavaju tla s kiselom reakcijom, no uz nešto viši prosječni pH u usporedbi s Đakovom. Uzorci s ovog lokaliteta raspoređeni su unutar spektra vrlo kiselih, kiselih i slabo kiselih tala.

Analiza raspodjele sadržaja organske tvari na lokalitetima Đakovo i Ivankovo ukazuje na dominaciju tla s nižim udjelom organske tvari. Na lokalitetu Đakovo prevladavaju uzorci koji se svrstavaju u kategoriju slabo humoznih tala, dok su uzorci s nešto većim vrijednostima prisutni u manjoj mjeri. Slična situacija zabilježena je i na lokalitetu Ivankovo, gdje također dominira klasa slabo humoznih tala. Vrlo mali broj uzoraka pokazuje ekstremno niske ili nešto više sadržaje organske tvari, dok uzorci s visokim udjelom organske tvari uopće nisu zabilježeni.

Analiza rezultata s lokaliteta Đakovo ukazuje na to da tlo ovog područja karakterizira uglavnom niska do umjerena opskrbljenost fosforom. Većina analiziranih uzoraka svrstana je u niže kategorije dostupnosti fosfora, osobito u tlima s nižim pH vrijednostima, gdje dominira vrlo slaba opskrbljenost. Pojava uzoraka s višim koncentracijama fosfora rijetka je i najvjerojatnije posljedica lokalnih varijacija ili specifičnih agrotehničkih zahvata. Na istom lokalitetu, u tlima neutralne do blago alkalne reakcije, uočena je ravnomjernija raspodjela uzoraka prema klasama opskrbljenosti fosforom. Takva raspodjela upućuje na to da viši pH pogoduje boljoj dostupnosti fosfora, što je u skladu s poznatim agronomskim spoznajama. Naime, dostupnost fosfora u tlu raste s porastom pH vrijednosti te doseže maksimum pri gotovo neutralnom pH (Barrow i sur., 2020.). Sličan obrazac potvrđen je i na lokalitetu Ivankovo. U tlima kisele reakcije većina uzoraka svrstana je u niže kategorije opskrbljenosti fosforom, dok su tla neutralne i blago alkalne reakcije pokazala znatno višu razinu njegove dostupnosti. Uočena je i prisutnost uzoraka u najvišim klasama opskrbljenosti, što dodatno potvrđuje da kemijski status takvih tala omogućuje bolju pristupačnost ovog esencijalnog hranjiva.

Usporedba lokaliteta Đakovo i Ivankovo jasno pokazuje da je pH tla jedan od ključnih čimbenika koji reguliraju raspoloživost fosfora. Kisela tla, uslijed intenzivne fiksacije fosfora

u netopive spojeve, pokazuju znatno slabiju opskrbljenost, dok neutralna i blago alkalna tla nude povoljnije uvjete za njegovu mobilnost i usvajanje (Melese i sur., 2015.).

Analiza sadržaja kalija u tlima srednje teške teksture na lokalitetima Đakovo i Ivankovo ukazuje na razlike u opskrbljenosti tla ovim važnim makroelementom. Na lokalitetu Đakovo tlo pokazuje veću raznolikost u raspodjeli kalija, pri čemu se najveći broj uzoraka nalazi u kategoriji slabije do umjerene opskrbljenosti. Prisutan je i manji broj uzoraka s vrlo niskim, kao i s povišenim sadržajem kalija, što ukazuje na izraženu heterogenost unutar istraživanog područja. Takva distribucija sugerira na potencijalne izazove u održavanju ravnomjerne plodnosti tla te potrebu za preciznijim pristupom u planiranju gnojidbe, osobito u dijelovima gdje su razine kalija ispod optimalnih.

S druge strane, uzorci prikupljeni na lokalitetu Ivankovo pokazuju ujednačeniju raspodjelu sadržaja kalija, s dominantnom prisutnošću uzoraka unutar kategorije koja se smatra optimalnom za poljoprivrednu proizvodnju. Uzorci s nižim razinama kalija zabilježeni su u manjem broju, dok ekstremno niske i visoke vrijednosti nisu utvrđene. Ovakav rezultat upućuje na stabilnije kemijske značajke tla, s manjom potrebom za korektivnim mjerama u smislu nadopune kalija. Usporedba ova dva lokaliteta pokazuje da, iako su oba područja karakterizirana istim tekturnim tipom tla, postoje razlike u opskrbljenosti kalijem koje mogu biti posljedica različitih čimbenika. Ivankovo se ističe stabilnijim i uravnoteženijim profilom opskrbljenosti kalijem, dok Đakovo zahtijeva veću pažnju u pogledu planiranja gnojidbe i očuvanja plodnosti. Zaključno, rezultati istraživanja ukazuju na važnost uzimanja u obzir tekturnih svojstava tla u kombinaciji s kemijskom analizom, kako bi se razvile prilagođene strategije upravljanja ishranom bilja i postigli održivi prinosi (Rosolem i Steiner, 2017.).

4.2. Osnovna fizikalna svojstva tla na lokalitetu Đakovo i Ivankovo

Analiza fizikalnih svojstava tla na lokalitetima Đakovo i Ivankovo pokazuje da oba lokaliteta karakterizira srednje teška tekstura tla, što podrazumijeva uravnotežen omjer čestica pijeska, praha i gline. Takva tekstura pogoduje poljoprivrednoj proizvodnji jer omogućuje dobru prozračnost tla, kapacitet zadržavanja vode te povoljne uvjete za razvoj korijenovog sustava biljaka (Eyong i Ofem, 2020.). Na lokalitetu Đakovo, tlo je izraženo stratificirano kroz tri dubinska sloja. Površinski sloj ima izrazito povoljna svojstva s obzirom na teksturu, boju i strukturu, što omogućuje optimalne uvjete za klijanje i rast biljaka. Dublji slojevi pokazuju

blagi porast udjela čestica gline, uz očuvanje mrvičaste strukture, čime se zadržava relativno dobra sposobnost infiltracije i zadržavanja vode što je u skladu s istraživanjem Zhang i sur. (2023.). Karbonati se pojavljuju tek u najdubljem sloju, što može ukazivati na povećanje pH vrijednosti u dubini profila, s mogućim utjecajem na dostupnost hranjivih tvari.

Lokalitet Ivankaovo obuhvaća dublji profil koji se sastoji od četiri sloja, s većom varijabilnošću u teksturi i strukturi u odnosu na Đakovo. Površinski sloj pokazuje visoku propusnost i dobru opskrbljenost organskom tvari, što pogoduje biološkoj aktivnosti tla. S produbljivanjem, uočava se povećanje udjela gline i smanjenje propusnosti, osobito u srednjim slojevima, što može utjecati na drenažne kapacitete tla i dostupnost vode biljkama tijekom sušnih razdoblja. Najdublji sloj pokazuje blago poboljšanje fizikalnih karakteristika u odnosu na sloj iznad. Prisutnost kalcijevog karbonata zabilježena je samo u površinskom sloju, dok dublji slojevi ne pokazuju njegovu prisutnost, što može ukazivati na proces ispiranja ili drugačije pedogenetske uvjete.

Usporedba oba lokaliteta pokazuje da, iako su oba tla klasificirana kao srednje teška tla između njih postoje razlike, što je u skladu s Gračaninom (1938.). Tako Ivankaovo ima izraženije razlike među slojevima u smislu teksture i propusnosti, dok je profil u Đakovu ujednačeniji. Ivankaovo također pokazuje višu dinamiku u udjelima organske tvari i čestica gline po slojevima, što može zahtijevati prilagodbu agrotehničkih mjera ovisno o dubini korijenovog sustava uzgajanih kultura. S obzirom na navedena svojstva oba su lokaliteta pogodna za poljoprivrednu proizvodnju, ali zahtijevaju različite pristupe u upravljanju vodom i hranjivim tvarima, osobito u dubljim slojevima gdje dolazi do smanjene propusnosti i promjena u kemijskom sastavu.

4.3. Komparativne metode određivanja organske tvari u tlu

Između količina organskog ugljika ekstrahiranog Tjurin i Bikromatnom metodom utvrđena je snažna i statistički značajna povezanost koja je bila u skladu s očekivanjima i potvrđena izračunatim koeficijentima korelacije ($r = 0,92$ za lokalitet Đakovo te $r = 0,82$ za lokalitet Ivankaovo). Ova povezanost bila je uočena na cijelom skupu uzoraka, neovisno o kategoriji opskrbljenosti tla organskom tvari, što ukazuje na dosljednost i pouzdanost primijenjenih metoda.

Takvi rezultati poslužili su kao temelj za izradu modela regresije koji osim osnovne usporedbe dviju metoda uključuju i dodatne parametre, poput supstitucijske pH vrijednosti tla, kako bi povećali preciznost i prilagodljivost modela različitim uvjetima. Primjena regresijskih modela uobičajena je praksa pri usporedbi dviju ili više metoda za određivanje različitih parametara tla te analizi ovisnosti tih parametara. Tako Ottabong i sur. (2009.) ističu kako udio gline u tlu značajno utječe na povezanost AL i Olsen metoda pri određivanju sadržaja fosfora, dok Lončarić i sur. (2006.) naglašavaju da pH reakcija tla ima ključnu ulogu u utvrđivanju međusobne ovisnosti tih dviju metoda.

Kada su uzorci tla podijeljeni u tri skupine temeljem sadržaja organske tvari ($>2\%$, $2-2,5\%$ i $<2,5\%$), uočene su promjene u vrijednostima koeficijenata korelacije, što je ukazalo na različitu povezanost između pH tla i organske tvari ovisno o razini humoznosti. Ove analize dodatno su potvrdile postojanje statistički značajne povezanosti između pHKCl tla i izmjerene sadržaja organske tvari bez obzira na metodu određivanja, čime je potvrđena relevantnost pH vrijednosti pri modeliranju. Na lokalitetu Đakovo, uvođenje dodatnog parametra supstitucijske pH vrijednosti tla u regresijsku jednadžbu rezultiralo je smanjenjem koeficijenta korelacije s $r=0,92$ na $r=0,83$ na razini svih uzoraka, ukazujući na kompleksniji odnos između organske tvari i pH vrijednosti. Podjela uzoraka prema kategorijama humoznosti također je imala značajan utjecaj na odstupanje modela: ono se povećavalo s porastom organske tvari iznad $2,5\%$, dok je za uzorke u rasponu $2-2,5\%$ organske tvari preciznost modela bila vrlo slična onoj osnovnog modela. Na lokalitetu Ivankovo uvođenje novih parametara u regresijsku jednadžbu dovelo je do neznatnog pada koeficijenta korelacije s $r=0,82$ na $r=0,79$, što ukazuje na relativno stabilnu povezanost bez prevelikog narušavanja preciznosti modela. Najveća preciznost modela postignuta je upravo u osnovnom modelu kod uzoraka s humoznošću iznad $2,5\%$, dok je najveće odstupanje uočeno kod uzoraka s humoznošću ispod 2% , gdje su varijabilnost i heterogenost uzoraka imali veći utjecaj na konačne rezultate.

Nadalje, primjena neuronskih mreža na podacima s lokaliteta Đakovo potvrdila je početno utvrđeni koeficijent korelacije ($r = 0,92$) te dodatno ukazala na dominantniji utjecaj organske tvari u odnosu na pHKCl pri modeliranju. Za razliku od toga, na lokalitetu Ivankovo obje varijable – i organska tvar i pH tla – imale su približno ravnomjeren značaj u neuronskoj mreži, što sugerira kako je na tom području kompleksnost uzajamnog utjecaja ovih parametara izraženija i ravnomjernije raspoređena. Provedena istraživanja potvrđuju visoku povezanost između različitih metoda određivanja organske tvari te ukazuju na korisnost uvođenja dodatnih

parametara u statističke i neuralne modele, osobito kada se uzmu u obzir specifičnosti humoznosti tla i varijabilnost pH vrijednosti.

4.4. Modeli usporedbe metoda za određivanje organske tvari u tlu

U ovom istraživanju razvijena su dva tipa modela: regresijski i model pomoću neuronskih mreža. Tablica 56 prikazuje osnovne karakteristike svakog od njih.

Tablica 56. Usporedba regresijskih modela i neuronskih mreža

Karakteristika	Regresijski modeli	Neuronske mreže (NN)
Tip modela	Parametarski, linearan	Neparametarski, nelinearan
Ulazne varijable	Ograničen broj (u provedenom istraživanju: organska tvar, pHKCl)	Moguća obrada velikog broja ulaznih varijabli
Pretpostavke o podacima	Zahtijeva linearnu povezanost	Ne zahtijeva apriorne pretpostavke
Fleksibilnost modela	Ograničena, ovisna o obliku jednadžbe	Vrlo visoka – sposoban za prepoznavanje složenih nelinearnih obrazaca

Prvi razvijeni model bio je linearni regresijski modeli za procjenu sadržaja organske tvari u tlu na temelju usporedbe različitih analitičkih metoda pri čemu su korištena dva osnovna tipa modela: Model H, koji kao jedinu ulaznu varijablu koristi sadržaj organske tvari dobiven metodom po Tjurinu, te Model HS, koji u regresijsku jednadžbu dodatno uključuje vrijednost pH tla (pHKCl) kao dopunsku varijablu. Analiza je provedena na dvije lokacije Đakovo i Ivankovo, čime su omogućene usporedbe utjecaja pedogenetskih i kemijskih karakteristika tla na učinkovitost regresijskih modela.

Na obje lokacije Model H pokazao je bolju korelaciju ($r = 0,92$ na lokaciji Đakovo i $r = 0,82$ na lokaciji Ivankovo) i niže relativno odstupanje (2,85 % i 4,25 %) u odnosu na Model HS. Uključivanje pHKCl u Model (HS) na obje lokacije nije dovelo do značajnog povećanja točnosti; štoviše, na lokaciji Ivankovo pogreška modela se čak i povećala. Ovi rezultati upućuju na to da sadržaj organske tvari samostalno može biti dovoljno precizan prediktor u homogenim uzorcima tla, dok dodatni prediktori ne moraju nužno pridonijeti poboljšanju modela u širim skupinama uzoraka. Ovakvi rezultati slažu se sa tvrdnjom Lončarić (2005) koji ističe kako se preporuke gnojidbe dobijene različitim modelima međusobno razlikuju, ali se ti modeli

razlikuju i po opsegu ulaznih podataka koji su potrebni za njihovo funkcioniranje pa su zbog toga modeli međusobno komparabilni.

U provedenom istraživanju rezultati upućuju da regresijski modeli značajno variraju među lokacijama. Lokacija Đakovo generalno pokazuje veće koeficijente korelacije, dok je na lokaciji Ivankovo zabilježena veća osjetljivost modela na dodatne varijable (npr. pHKCl). Ovo potvrđuje da pedološki kontekst tla (npr. tekstura, mineralni sastav, stupanj karbonatnosti) značajno utječe na funkcionalnost modela, što bi trebalo uzeti u obzir pri razvoju modela namijenjenih različitim regijama ili tipovima tla.

Također, u ovom istraživanju razvijena su i dva neuronska modela za istraživane lokalitete, a oba modela trenirana su pomoću istog skupa podataka kao i regresijski modeli te su evaluirana na temelju uobičajenih statističkih pokazatelja uspješnosti modela: koeficijent determinacije (r^2), srednja pogreška (avg. error), korelacija (r), srednja kvadratna pogreška (MSE) i korijen srednje kvadratne pogreške (RMSE).

Neuronske mreže i modele koristili su brojni istraživači u različitim vrstama istraživanja i oni ističu kako su neuroni međusobno povezani ponderiranim vezama kroz koje teku podaci i skaliraju se prema vrijednostima pondera (Dougherty, 1995). Naravno, da bi bile korisne, neuronske mreže moraju povezati vanjske izvore: točnije, moraju dobiti informacije iz više ulaznih varijabli - nazvanih nezavisnih varijabli - i procijeniti jednu ili više izlaznih varijabli - nazvanih zavisne varijable (Despaigne i Massart, 1998). Nezavisne varijable su dane u ulaznom sloju, a zatim ponderirane vezom između ulaza i skrivenih slojeva (Despaigne i Massart, 1998). Skriveni slojevi odvajaju ulazni sloj od izlaznog sloja. U skrivenim slojevima specificira se odnos između ulaza i izlaza. Točnije, sastoji se od dva zadatka: zbrajanja ponderiranih ulaza i projekcije tog zbroja na prijenosnu funkciju za stvaranje aktivacije (Despaigne i Massart, 1998), (Dougherty, 1995). Neke prednosti korištenja neuronskih mreža također su navedene u (Ledoux, 1997): posebno, mogućnost razvoja matematičkog modela temeljenog na empirijskim podacima bez analitičkih pretpostavki o protoku prometa i mogućnost korištenja za aplikacije u stvarnom vremenu i implementacije u hardveru.

Jednostavan i praktičan postupak kalibracije, robusnost i sposobnost rukovanja složenim interakcijama su među prednostima koje su istaknuli autori Li i Yeh (2001).

U provedenom istraživanju model koji je koristio pHKCl kao dodatnu ulaznu varijablu (oznaka modela: HS) pokazao je bolje ukupne performanse u usporedbi s modelom koji je koristio samo jedno svojstvo tla. Najbolji rezultat HS modela postignut je na lokalitetu Đakovo pri korištenju 47 skrivenih neurona, s $R^2 = 0,873$, korelacijom $r = 0,934$ i $RMSE = 0,170$. U usporedbi s tim, model na lokalitetu Ivankovo ostvario je maksimalni $R^2 = 0,675$, korelaciju $r = 0,822$ i $RMSE = 0,251$, pri optimalnom broju od 27 skrivenih neurona.

Ovi rezultati jasno ukazuju da je model na lokalitetu Đakovo bio značajno precizniji, s manjim pogreškama predikcije i jačom povezanosti između ulaznih i izlaznih varijabli. Preciznija predviđanja u HS modelu dodatno su potvrđena nižom srednjom kvadratnom pogreškom ($MSE = 0,029$ u odnosu na $0,063$) te manjom prosječnom pogreškom predviđanja ($Avg. error = 0,129$ u odnosu na $0,201$).

Analiza važnosti ulaznih varijabli također je potvrdila razliku između modela ovisno o lokalitetima. U HS modelu na lokalitetu Đakovo, sadržaj organske tvari dominirao je s udjelom od $91,7\%$, dok je pHKCl doprinio s $8,3\%$. S druge strane, u modelu na lokalitetu Ivankovo udio sadržaja organske tvari bio je $52,5\%$, a pH je sudjelovao s visokih $47,5\%$, što može ukazivati na veću osjetljivost modela na promjene pH, ali i veću nestabilnost rezultata s obzirom na slabiju ukupnu točnost modela.

Ovi rezultati poklapaju se s tvrdnjama autora koji kažu da postoje i neki problemi u korištenju neuronskih mreža. Naime, najpoznatiji je izbor mrežne arhitekture, tj. broj slojeva, broj neurona na svakom sloju i broj lukova (Zhang i sur., 1998.). Ostala pitanja uključuju izbor aktivacijske funkcije, veličinu skupa podataka za treniranje i algoritam treniranja (Otković Ištoka i Šraml, 2011.; Zhang i sur., 1998.). Svi ovi aspekti doprinose sposobnosti generalizacije mreže i izbjegavanju pretreniranosti mreže (Otković Ištoka i Šraml, 2011.). Isti autori ističu i problem zaustavljanja vremena treniranja: Ovo je ključno pitanje jer može dovesti do prekomjernog treniranja mreže i prekomjernog prilagođavanja podataka, što rezultira nerealnim rezultatima.

Slično metodama kalibracije i regresije, neuronske mreže su također doživjele širok razvoj u području poljoprivrede gdje su primijenjene na širok raspon problema: od predviđanja koncentracije pojedinih elemenata u tlu i procjene potrebne gnojide i mjera popravki tala do kalibracije postojećih razvijenih modela. (Karlaftis i Vlahogianni, 2011). Sukladno tome, rezultati razvijenih neuronskih modela u ovom istraživanju potvrđuju da u kontekstu procjene

organske tvari u tlu, supstitucijska kiselost (pHKCl) pruža informacijski visok doprinos, čime se potvrđuje njezina veća analitička vrijednost pri predikciji sadržaja organske tvari. Razlike u performansama modela moguće je dodatno povezati s kemijskom prirodom analitičkih metoda koje su primijenjene za određivanje sadržaja organske tvari, kao i s njihovom interakcijom s fizikalno-kemijskim svojstvima tla na istraživanim lokalitetima.

4.5. Izračun sekvestracije ugljika i emisija CO₂ na lokalitetima Đakovo i Ivankovo

Rezultati kemijskih analiza uzoraka tla prikupljenih 2017. godine na lokalitetu Đakovo, koji predstavljaju početnu referentnu točku istraživanja i temelj za daljnju usporedbu, ukazali su na jasno izražen vertikalni gradijent u sadržaju organske tvari. Ovaj gradijent karakteriziran je značajno višim koncentracijama organske tvari u površinskom sloju tla u odnosu na dublje horizonte, što je očekivano s obzirom na veću biološku aktivnost, veći udio korijenskih ostataka i veću količinu biljne mase u gornjim slojevima. Takvi rezultati u skladu su s nalazima Alaswad i sur. (2017.), koji su također potvrdili da površinski slojevi tla imaju ključnu ulogu u procesima akumulacije organskog materijala. Ova pojava zabilježena je na oba istraživana lokaliteta, neovisno o vrsti uzgojnog sustava, čime se dodatno potvrđuje važnost površinskog sloja u ekološkoj funkciji tla, osobito kada je riječ o sekvestraciji ugljika i održavanju plodnosti. Kod tla pod utjecajem voćarskog uzgoja, konkretno u nasadima oraha, utvrđeno je da su početne vrijednosti sadržaja organske tvari i organskog ugljika bile nešto niže nego na kontrolnim površinama, što je osobito bilo izraženo u dubljim slojevima tla. Navedeno sugerira da je prisutan određeni početni negativni učinak voćarske proizvodnje na dinamiku organske tvari, koji se može povezati s promjenama u mikroklimatskim uvjetima tla, drugačijim rasporedom korijenja i eventualno većom razinom ranije mineralizacije organskog materijala zbog specifičnih agrotehničkih zahvata u voćnjaku. Međutim, važno je napomenuti da su ovakve početne razlike često uvjetovane i prethodnim korištenjem zemljišta te početnim fazama prilagodbe agroekosustava na novi tip uzgoja.

Analiza podataka prikupljenih tijekom višegodišnjeg istraživanja na lokalitetu Đakovo omogućila je praćenje dinamike promjena u sadržaju organske tvari i organskog ugljika kroz vrijeme pod utjecajem različitih uzgojnih sustava. Tijekom prve dvije godine istraživanja, rezultati su pokazali minimalne promjene u kontrolnom sustavu, što sugerira stabilnost postojećih uvjeta tla, ali i upućuje na ograničeni utjecaj vremenskog faktora zbog relativno kratkog perioda između dva uzorkovanja, što je u skladu s istraživanjem Diacomu i

Montemurro (2010.). Takva stabilnost može biti posljedica prirodnog biološkog ekvilibrija ili manjka vanjskih faktora koji bi mogli utjecati na intenzivnije promjene.

U suprotnosti s tim, voćnjak je pokazao pozitivan trend porasta sadržaja organske tvari, što se pripisuje prisutnosti trajne vegetacije, smanjenoj obradi tla i manjem narušavanju njegove strukture. Trajni biljni pokrov doprinosi kontinuiranom opskrbljivanju tla organskom tvari putem otpalog lišća, korijenovih eksudata i manjeg izlaganja eroziji, čime se stvara stabilniji mikroekosustav unutar tla. U tom kontekstu, sustav konsocijacije, koji je implementiran nakon početnih mjerenja, također je pokazao slične tendencije poboljšanja tla, iako su njegove koristi bile vidljivije tek u kasnijim fazama istraživanja, što je u skladu s istraživanjem Chaudhary i Ghaley (2025.).

Podaci iz treće godine istraživanja omogućili su usporedbu među sustavima, gdje je utvrđeno da su i konsocijacijski sustav i voćnjak pokazali znatno povoljniji učinak na zadržavanje i povećanje udjela organskog ugljika u tlu u usporedbi s kontrolnim sustavom, što je u skladu sa zaključcima istraživanja An i sur. (2023.). Posebno su visoke vrijednosti zabilježene u gornjem sloju tla, gdje se odvija najveći broj mikrobioloških, kemijskih i fizikalnih procesa ključnih za kruženje ugljika. Kontrolne površine, s druge strane, nastavile su pokazivati najniže vrijednosti sadržaja organske tvari.

U četvrtoj godini istraživanja provedena su višestruka uzorkovanja tijekom vegetacijske sezone, što je omogućilo detaljniju analizu sezonskih varijacija. Uočeno je da vrijednosti organske tvari i organskog ugljika fluktuiraju ovisno o sezoni, što se može povezati s dinamikom rasta biljaka, promjenama u oborinama i temperaturnim razlikama u tlu, što je u skladu s istraživanjem Turner i sur. (2015.). Ipak, uzgojni sustavi, unatoč tim varijacijama, zadržali su pozitivnu bilancu i pokazali otpornost na sezonske promjene. Povremeni blagi padovi u koncentracijama uočenih tijekom nepovoljnih klimatskih razdoblja nisu značajno utjecali na ukupni trend pozitivnih promjena u tim sustavima. Kasnija uzorkovanja dodatno su potvrdila bolje karakteristike uzgojnih sustava u odnosu na kontrolne površine.

Kroz čitav promatrani period, površinski sloj tla u voćnjaku i konsocijacijskom sustavu dosljedno je sadržavao višu razinu organske tvari, što upućuje na veću sposobnost tih sustava za sekvestraciju ugljika. Ovakav obrazac upućuje na to da uzgojni sustavi s trajnim biljnim pokrovom stvaraju stabilnije uvjete za dugoročno skladištenje ugljika u tlu, čime se dodatno podupiru ciljevi održivog gospodarenja zemljištem, što je u skladu s istraživanjem Ghale i sur. (2022.). Uzevši u obzir sve prikupljene podatke, može se zaključiti kako poljoprivredne prakse koje uključuju raznolike biljne vrste i smanjenu obradu tla značajno doprinose povećanju

kvalitete tla te pružaju otpornost na klimatske i okolišne stresove. Rezultati iz Đakova stoga imaju važnu primjenu u kontekstu prilagodbe klimatskim promjenama i planiranju budućih održivih sustava korištenja tla.

Na lokalitetu Ivankovo, također su zabilježeni značajni nalazi koji potvrđuju vertikalni raspored organske tvari u tlu – površinski slojevi dosljedno su pokazivali više koncentracije u usporedbi s dubljim slojevima. To se pripisuje većoj količini biljne mase, prisutnosti korijenskih ostataka, ali i pojačanoj mikrobiološkoj aktivnosti u gornjim slojevima. U kontrolnom sustavu u Ivankovu, sadržaj organskog ugljika pokazivao je izražene godišnje oscilacije, što može ukazivati na osjetljivost ovog sustava na vanjske čimbenike, kao što su klimatski uvjeti, količina oborina ili temperaturne oscilacije. Međutim, u nekim razdobljima zabilježeni su i porasti organskog ugljika, što se može tumačiti kao rezultat prirodnih procesa stabilizacije tla ili privremenog smanjenja intenziteta mineralizacije.

S druge strane, sustav konsocijacije u Ivankovu nije pokazao konzistentan trend porasta sadržaja organske tvari. Iako su u pojedinim godinama zabilježene pozitivne vrijednosti, one nisu bile prisutne u kontinuitetu. Tijekom drugih sezona uočena su i smanjenja, što se može objasniti kompleksnim interakcijama između primijenjenih agrotehničkih mjera i promjenjivih okolišnih uvjeta, poput sušnih razdoblja ili prekomjerne vlažnosti tla. U određenim sezonama zabilježeni padovi vrijednosti mogli bi se povezati s manjom proizvodnjom biljne mase ili nepovoljnim agroklimatskim uvjetima koji su usporili procese dopune tla organskom tvari.

Dinamika organske tvari u Ivankovu kroz promatrane godine zrcalila je specifičnosti svakog sustava. Trajni nasadi, poput voćnjaka, pokazali su veću otpornost na sezonske varijacije i bolju sposobnost zadržavanja ugljika u tlu, dok su kontrolne površine pokazale veću osjetljivost na vanjske čimbenike, što je u skladu s istraživanjem Wang i sur. (2022.). Promjene u sadržaju organskog ugljika bile su povezane i s promjenama u reakciji tla (pH vrijednosti), što ukazuje na kompleksnu povezanost fizikalno-kemijskih i bioloških čimbenika u agroekosustavu.

Višegodišnja analiza tla na lokalitetu Ivankovo pokazuje da su voćnjaci i sustavi konsocijacije ostvarili pozitivnu bilancu sekvestracije ugljika, dok je kontrolni sustav imao negativnu bilancu, što ukazuje na gubitak organskog materijala u odsustvu aktivne vegetacije.

Važno je istaknuti da su ukupne vrijednosti sekvestracije ugljika u Ivankovu bile znatno više u usporedbi s lokalitetom Đakovo, što može biti rezultat različitih edafskih uvjeta, klimatskih karakteristika ili početnog stanja tla. Ovi rezultati dodatno naglašavaju potrebu za lokalno prilagođenim praksama održivog upravljanja tlom kako bi se maksimalno iskoristio potencijal sekvestracije ugljika i očuvala dugoročna produktivnost tla u različitim agroekološkim

uvjetima.

5. ZAKLJUČCI

Jedan od ključnih izazova suvremene poljoprivrede je postizanje održive proizvodnje koja istovremeno osigurava visoke prinose i čuva prirodne resurse. U tom kontekstu, konsocijacijski sustavi predstavljaju alternativu konvencionalnim praksama jer omogućuju optimizaciju odnosa između biljnih vrsta, tla i mikrobioloških zajednica, što u konačnici može doprinijeti poboljšanju kvalitete tla i smanjenju negativnog utjecaja na okoliš.

1. Konsocijacijski sustavi povećavaju sadržaj organske tvari i ugljika u tlu u usporedbi s kontrolom na oba lokaliteta.
2. Konsocijacijski sustavi omogućuju znatno veću sekvestraciju ugljika, Đakovo ($0,93 \text{ t C ha}^{-1}$) Ivankovo ($1,94 \text{ t C ha}^{-1}$), dok na kontrolnim površinama nije zabilježena značajnija sekvestracija.
3. Unatoč ukupno većim emisijama CO_2 na lokalitetima s većim površinama (Ivankovo), konsocijacijski sustavi smanjuju emisije CO_2 po jedinici površine, zbog povećane sekvestracije ugljika.
4. Komparativna analiza metoda za određivanje ugljika u tlu pokazala je visoku korelaciju između analiziranih metoda. Na lokalitetu Đakovo, koeficijent korelacije iznosio je $r = 0,92$, dok je na lokalitetu Ivankovo iznosio $r = 0,82$. Ove vrijednosti upućuju na visoku pouzdanost korištenih metoda za analizu sadržaja organskog ugljika u tlu.
5. Razvijeni regresijski modeli bili su dovoljno precizni za izračune predikcije rezultata, a uvođenje dopunskih parametara nije imalo pozitivan učinak na povećanje preciznosti osim u jednom slučaju na lokalitetu Ivankovo.
6. Neuronske mreže korištene za analizu rezultata metoda određivanja ugljika u tlu pokazale su jednaku preciznost u odnosu na regresijske modele što je vidljivo iz gotovo istih koeficijenata korelacije Đakovo ($r=0,92$ vs $r=0,93$), Ivankovo ($r=0,82$).
7. Regresijski i neuronski modeli razvijeni u ovom istraživanju pokazali su se jednostavnima i vrlo primjenjivima u praksi. Mogućnost dobivanja rezultata već na temelju jednog ulaznog parametra – npr. sadržaja organske tvari – dovoljno je precizna za usporedbu analiza sadržaja ugljika različitim metodama koje se upotrebljavaju u analitičkim laboratorijima u državama Europske Unije. Isto tako razvijeni modeli mogu poslužiti za proučavanje utjecaja ugljika i raspoloživih elemenata u tlu na preciznost preporuka za gnojidbu.

8. Za širu primjenjivost modela potrebna je dodatna validacija uz uključivanje lokalno specifičnih varijabli zbog varijabilnosti svojstava tla.

Rezultati ovog istraživanja pridonijeli su boljem razumijevanju povezanosti između uzgojnih sustava, dinamike organskog ugljika u tlu i ekološke održivosti. Utvrđeno je da različiti načini upravljanja tlom i usjevima imaju izravan utjecaj na sposobnost tla za skladištenje ugljika, pri čemu je naglašena važnost optimizacije poljoprivrednih praksi u cilju povećanja otpornosti agroekosustava i očuvanja plodnosti tla za buduće generacije.

6. LITERATURA

1. Abdi, A., Carrié, R., Sidemo-Holm, W., Cai, Z., Boke-Olén, N., Smith, H.G., Eklundh, L., Ekroos, J. (2021.): Biodiversity decline with increasing crop productivity in agricultural fields revealed by satellite remote sensing. *Ecol. Indic*, 130, 108098. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108098>
2. Alaswad, F., Mohamat-Yusuff, F., Khairiah, J., Kusin, F., Ismail, R., Asha-ari, Z. (2017.): Effects of Depth and Land Cover on Soil Properties as Indicated by Carbon and Nitrogen-Stable Isotope Analysis. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27(1), 1–10. <https://doi.org/10.15244/pjoes/74130>
3. An, Z., Pokharel, P., Plante, A.F., Bork, E.W., Carlyle, C.N., Williams, E.K., Chang, S.X. (2023.): Soil organic matter stability in forest and cropland components of two agroforestry systems in western Canada. *Geoderma*, 433, 116463. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116463>
4. Andrews, J. S., Sanders, Z. P., Cabrera, M. L., Hill, N. S., Radcliffe, D. E. (2020.): Simulated nitrate leaching in annually cover cropped and perennial living mulch corn production systems. *J Soil Water Conserv*, 75, 91-102. <https://doi.org/10.2489/jswc.75.1.91>.
5. Awazi, N.P., Tchamba, M.N. (2019.): Enhancing agricultural sustainability and productivity under changing climate conditions through improved agroforestry practices in smallholder farming systems in Sub-Saharan Africa. *Afr. J. Agric. Res.*, 14, 379-388. <https://doi.org/10.5897/AJAR2018.12972>.
6. Barros-Rodríguez, A., Rangseekaew, P., Lasudee, K., Pathom-Aree, W., Manzanera, M. (2021.): Impacts of agriculture on the environment and soil microbial biodiversity. *Plants*, 10 (11), 2325. <https://doi.org/10.3390/plants10112325>.
7. Barrow, N.J., Debnath, A., Sen, A. (2020.): Measurement of the effects of pH on phosphate availability. *Plant and Soil*, 454. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04647-5>
8. Bateni, C., Ventura, M., Tonon, G., Pisanelli, A. (2021.): Soil carbon stock in olive groves agroforestry systems under different management and soil characteristics. *Agroforest Syst.* 95:951–961. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00367-7>
9. Bentrup, G., Hopwood, J., Adamson, N.L., Vaughan, M. (2019.): Temperate agroforestry systems and insect pollinators: A review. *Forests*, 10, 981.

<https://doi.org/10.3390/f10110981>

10. Beule, L., Corre, M.D., Schmidt, M., Göbel, L., Veldkamp, E., Karlovsky, P. (2019.): Conversion of monoculture cropland and open grassland to agroforestry alters the abundance of soil bacteria, fungi and soil-N-cycling genes. *PLoS ONE*. 14(7): e0220713. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220713>
11. Beule, L., Vaupel, A., Moran-Roda, V.E. (2022.): Abundance, Diversity, and Function of Soil Microorganisms in Temperate Alley-Cropping Agroforestry Systems: A Review. *Microorganisms*, 10, 616. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10030616>.
12. Bhattacharyya, S. S., Leite, F.F.G.D., Adeyemi, M.A., Sarker, A.J., Cambareri, G.S., Faverin, C., Tieri, M.P., Castillo-Zacarias, C., Melchor-Martínez, E.M., Iqbal, H.M.N., Parra-Saldívar, R. (2021.): A paradigm shift to CO₂ sequestration to manage global warming – With the emphasis on developing countries. *Science of the Total Environment*. 790, 148169. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148169>.
13. Chaudhary, V. P.; Ghaley, B. B. Insights into Beneficial Effects of an Agroforestry System on Soil Properties and Crop Yields: A Case Study from the Experimental Farm at University of Copenhagen, Denmark. *Sustainability* 2025, 17 (4), 1466. <https://doi.org/10.3390/su17041466>
14. Chauhan, S.K., Gupta, N., Walia, R., Yadav, S., Chauhan, R., Mangat, P.S. (2011.): Biomass and Carbon Sequestration Potential of Poplar-Wheat Inter-cropping System in Irrigated Agro-ecosystem in India. *Journal of Agricultural Science and Technology*. A 1, 575-586
15. Coble, A. P., Contosta, A. R., Smith, R. G., Siegert, N. W., Vadeboncoeur, M., Jennings, K., Stewart, A., Asbjornsen, H. (2020.): Influence of forest-to-silvopasture conversion and drought on components of evapotranspiration. *Agr Ecosyst Environ*, 295, 106916. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106916>
16. Culman, S.W., Snapp, S.S., Freeman, M.A., Schipanski, M.E., Beniston, J., Lal, R., Drinkwater, L.E., Franzluebbers, A.J., Glover, J.D., Grandy, A.S., Lee, J., Six, J., Maul, J.E., Mirsky, S.B., Spargo, J.T., Wander, M.M. (2012.): Permanganate Oxidizable Carbon Reflects a Processed Soil Fraction that is Sensitive to Management. *Soil Science Society of America Journal*. 76: 494-504. <https://doi.org/10.2136/sssaj2011.0286>
17. Damianidis, C., Santiago-Freijanes, J.J., den Herder, M., Burgess, P., Mosquera-Losada, M.R., Graves, A., Papadopoulos, A., Pisanelli, A., Camilli, F., Rois-Díaz, M, et al. (2021.): Agroforestry as a sustainable land use option to reduce wildfires risk in European Mediterranean areas. *Agroforest Syst*, 95, 919–929.

- <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00482-w>.
18. de Moura, E.G., Mooney, S.J., Campos, L.S., Bastos, K.D.O., Aguiar, A.C.F., Jewitt, S. (2021.): No-till alley cropping using leguminous trees biomass: a farmer- and eco-friendly sustainable alternative to shifting cultivation in the Amazonian periphery?. *Environment, Development and Sustainability*. 24, 7195–7212. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01744-y>
 19. Delgado-Lemus, T.S., Moreno-Calles, A.I. (2022.): Agroforestry contributions to urban river rehabilitation. *Sustain. Sci.*, 14, 7657. <https://doi.org/10.3390/su14137657>.
 20. Despagne, F., Massart, D. L. (1998): Neural network in multivariate calibration. *The Analyst Tutorial Review*.
 21. Diacono, M.; Montemurro, F. Long-Term Effects of Organic Amendments on Soil Fertility. A Review. *Agronomy for Sustainable Development* 2010, 30 (2), 401–422. <https://doi.org/10.1051/agro/2009040>
 22. Dold, C., Thomas, A.L., Ashworth, A.J., Philipp, D., Brauer, D.K., Sauer, T.J. (2019.): Carbon sequestration and nitrogen uptake in a temperate silvopasture system. *Nutr Cycl Agroecosyst*. 114:85–98. <https://doi.org/10.1007/s10705-019-09987-y>
 23. Dollinger, J., Jose, S. (2018.): Agroforestry for soil health. *Agrofor. Syst.*, 92 (2), 213–219. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0223-9>.
 24. Dougherty, M. (1995): A review of neural networks applied to transport. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 3 (4), pp. 247–260.
 25. Egner, H., Riehm, H., Domingo, W.R. (1960.): Untersuchung über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Boden II. Chemische Extraktionsmethoden zu Phosphor- und Kaliumbestimmung. *K. Lantbr. Hogsk. Annlr. W.R.* 26: 199 – 215.
 26. Eyong, M.O., Ofem, K. I. (2020.): Soil Mechanical Composition and Texture as Indices for On-Site and Field Precise Choice of Land Use Type to Adopt. *Asian Soil Research Journal*, 28–43. <https://doi.org/10.9734/asrj/2020/v4i330094>
 27. Frank, S., Havlík, P., Soussana, J.F., Levesque, A., Valin, H., Wollenberg, E., Kleinwechter, U., Fricko, O., Gusti, M., Herrero, M., et al. (2017.): Reducing greenhouse gas emissions in agriculture without compromising food security?. *Environ. Res. Lett.*, 12, 105004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa8c83>.
 28. García de Jalón, S., Burgess, P. J., Graves, A., Moreno, G., McAdam, J., Pottier, E., Novak, S., Bondesan, V., Mosquera-Losada, R., Crous-Durán, J., Palma, J. H. N., Paulo, J. A., Oliveira, T. S., Cirou, E., Hannachi, Y., Pantera, A., Wartelle, R., Kay, S.,

- Malignier, N., & Van Lerberghe, P. (2017.): How is agroforestry perceived in Europe? An assessment of positive and negative aspects by stakeholders. *Agroforestry Systems*, 92(4), 829–848. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0116-3>
29. Gebre, A.B. (2016.): Potential Effects of Agroforestry Practices on Climate Change Mitigation and adaptation Strategies: A review. *CORE*.
30. Ghale, B.; Mitra, E.; Sodhi, H. S.; Verma, A. K.; Kumar, S. Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems and Its Potential in Climate Change Mitigation. *Water, Air, & Soil Pollution* 2022, 233 (7). <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05689-4>
31. Goparaju, L., Ahmad, F., Uddin, M., Rizvi, J. (2020.): Agroforestry: An effective multi-dimensional mechanism for achieving Sustainable Development Goals. *Ecol. Quest.*, 31, 3, 63–71. <http://dx.doi.org/10.12775/EQ.2020.023>.
32. Gračanin, M. (1938.): 'Klasifikacija tala po teksturi', Glasnik za šumske pokuse: Annales pro experimentis foresticis, 6, str. 390-404
33. Gračanin, M., (1947.): 'Pedologija, II dio – Fiziologija tla.', Poljoprivredni nakladni zavod u Zagrebu, Zagreb.
34. Guenat, S., Kaartinen, R., Jonsson, M. (2019.): Shade trees decrease pest abundances on brassica crops in Kenya. *Agroforest. Syst.*, 93, 641–652. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0159-5>.
35. Guo, J., Wang, B., Myo, S.T.Z., Cao, F. (2020.): Effects of three cropland afforestation practices on the vertical distribution of soil organic carbon pools and nutrients in eastern China. *Global Ecology and Conservation*. 22, e00913. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00913>
36. Han, X., Liu, X., Li, Z., Li, J., Yuan, Y., Li, H., Zhang, L., Liu, S., Wang, L., You, C., Tan, B., Xu, Z. (2022.): Characteristics of soil organic carbon fractions and stability along a chronosequence of *Cryptomeria japonica* var. *sinensis* plantation in the rainy area of western China. *Forests*. 13, 1663. <https://doi.org/10.3390/f13101663>
37. Haughey, E., Neogi, S., Portugal-Pereira, J., van Diemen, R., Slade, R.B. (2023.): Sustainable intensification and carbon sequestration research in agricultural systems: A systematic review. *Environ. Sci. Policy*, 143, 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.02.018>.
38. Hrvatska Agencija Za Poljoprivredu i Hranu (2020.) Tehnološke upute za tumačenje rezultata analiza tla za praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta
39. International Organization for Standardization (1998.): Determination of nitrite nitrogen

- and nitrate nitrogen and the sum of both by flow analysis (CFA) and spectrometric detection. ISO 13395:1998.
40. International Organization for Standardization (1998.): Soil quality – Determination of organic carbon by sulfochromic oxidation. 14235:1998.
 41. International Organization for Standardization (2004.): ISO 11277:2004.
 42. International Organization for Standardization (2005.): Soil quality – Determination of pH. ISO 10390:2005.
 43. International Organization for Standardization (2008.): Determination of ammonium by flow analysis and spectrometric determination. ISO 11732:2008.
 44. International Organization for Standardization (2014.): Soil quality – Determination of carbonate content – Volumetric method. ISO 10693:2014
 45. Ivezić, V. (2017.): Prijavni obrazac uspostavnog istraživačkog projekta HRZZ (UIP-05-2017).
 46. Jugoslovensko društvo za proučavanje zemljišta (Beograd, 1966): Priručnik za ispitivanje zemljišta, knjiga I, Hemijske metode ispitivanja zemljišta.
 47. Kane, D. (2015.): Carbon Sequestration Potential on Agricultural Lands: A Review of Current Science and Available Practices [Online]. Dostupno na <http://sustainableagriculture.net/publications>
 48. Karlaftis, M. G. (2011): Statistical methods versus neural networks in transportation research: differences, similarities and some insights. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19, pp. 387-399.
 49. Ketterings, Q.M., Czymmek, K.J., Reid, W.S., Wildman, R.F. (2002.): Conversion of modified Morgan and Mehlich 3 soil tests to Morgan soil test values, *Soil science* vol. 167, 12, pp.830-837.
 50. Kronenberg R., Lovell S., Hall D., Harmon-Threatt A. (2023.): Missouri natural resource professionals share key insights for supporting agroforestry practices through cost-share funding available from USDA conservation programs. *Renew. Agric. Food Syst.*, 38, 1–9. <https://doi.org/10.1017/S1742170523000054>
 51. Kumar, A., Hasanain, M., Singh, R., Verma, G., Meena, D.K., Mishra, R. (2020.): Role of Agroforestry Measures for Soil and Water Conservation. *Food Sci. Reports*, 1. 49-52
 52. Kuyah, S., Silesh, G.W., Nkurunziza, L., Chirinda, N., Ndayisaba, P.C., Dimobe, K., Öborn, I. (2021.): Innovative agronomic practices for sustainable intensification in sub-Saharan Africa. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 41, 16. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00673-4>.

53. Lasco, R.D., Delfino, R.J.P., Espaldon, M.L.O. (2014.): Agroforestry Systems: Helping Smallholders Adapt to Climate Risks While Mitigating Climate Change. Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Change, 5, 6, 825–833, <https://doi.org/10.1002/wcc.301>
54. Leakey, R.R.B. (1998.): Agroforestry for biodiversity in farming systems. *Advances in agroecology*. <https://doi.org/10.1201/9781420049244.ch8>.
55. Ledoux, C. (1997): An urban traffic flow model integrating neural networks. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 3 (4), pp. 287-300.
56. Li, X., Yeh, A. G. O. (2001): Calibration of cellular automata by using neural networks for the simulation of complex urban systems. *Environment and Planning A*, 33, pp. 1445-1462.
57. Lončarić, Z., Kovačević, V., Šepu, M., Šimić, B., Stojić, B. (2005.): Influences of fertilization on yield and nutritional status of maize. *Cereal Research Communications*. 33 (1.): 259-262.
58. Lončarić, Z., Popović, B., Teklić, T., Engler, M. Karalić, K. (2006.): Comparison of two soil phosphorus analytical methods in Croatia. *Commun. Soil Sci. Plant anal.* 37: 2867-2881.
59. Lončarić, Z., Popović, B., Teklić, T., Engler, M. Karalić, K. (2006.): Comparison of two soil phosphorus analytical methods in Croatia. *Commun. Soil Sci. Plant anal.* 37: 2867-2881.
60. Lynch, J., Cain, M., Frame, D., Pierrehumbert, R. (2021.): Agriculture's contribution to climate change and role in mitigation is distinct from predominantly fossil CO₂-emitting sectors. *Front. Sustain. Food Syst.*, 4, 518039. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.518039>.
61. Makumba, W., Akinnifesi, F.K., Janssen, B., Oenema, O. (2007.): Long-term impact of a gliricidia-maize intercropping system on carbon sequestration in southern Malawi. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 118, 237–243. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.011>
62. Malhi, G.S., Kaur, M., Kaushik, P. (2021.): Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review. *Sustain. Sci.*, 13, 1318. <https://doi.org/10.3390/su13031318>.
63. Marone, D., Poirier, V., Coyea, M., Olivier, A., Munson, A.D. (2017.): Carbon storage in agroforestry systems in the semi-arid zone of Niayes, Senegal. *Agroforest Syst.* 91, 941–954. DOI 10.1007/s10457-016-9969-0
64. Mbow, C., Smith, P., Skole, D. L., Duguma, L., Bustamante, M. (2014.): Achieving

- mitigation and adaptation to climate change through sustainable agroforestry practices in Africa. *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, 6, 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.09.002>.
65. Meena, R.S., Kumar, S., Singh Yadav, G. (2020.): Soil Carbon Sequestration in Crop Production u Nutrient Dynamics for Sustainable Crop Production [online]: Springer Singapore, pp. 1-39. Dostupno: <https://doi.org/10.1007/978-981-13-8660-2>
66. Melese, A., Gebrekidan, H., Yli-Halla, M., & Yitaferu, B. (2015.): Phosphorus Status, Inorganic Phosphorus Forms, and Other Physicochemical Properties of Acid Soils of Farta District, Northwestern Highlands of Ethiopia. *Applied and Environmental Soil Science*, 2015, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2015/748390>
67. Mukhlis, I., Rizaludin, M.S., Hidayah, I. (2022.): Understanding socio-economic and environmental impacts of agroforestry on rural communities. *Forests*, 13, 556. <https://doi.org/10.3390/f13040556>.
68. Mume, I.D., Workalemahu, S. (2021.): Review on Windbreaks Agroforestry as a Climate Smart Agriculture Practices. *American Journal of Agriculture and Forestry*, 9, 342-347. doi: 10.11648/j.ajaf.20210906.12
69. Murthy, I. K., Dutta, S., Varghese, V., Joshi, P. P., & Kumar, P. (2017.): Impact of Agroforestry Systems on Ecological and Socio-Economic Systems: A Review. *16*(5), 15–27. https://www.researchgate.net/publication/315668550_Impact_of_Agroforestry_Systems_on_Ecological_and_Socio-Economic_Systems_A_Review
70. Murthy, I.K., Gupta, M., Tomar, S., Munsu, M., Tiwari, R., Hegde, G.T., Ravindranath, N.H. (2013.): Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems in India. *J Earth Sci Climate Change*. 4, 131. doi:10.4172/2157- 7617.1000131
71. Mutuo, P. K., Cadisch, G., Albrecht, A., Palm, C. A., & Verchot, L. (2005.): Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 71(1), 43–54. <https://doi.org/10.1007/s10705-004-5285-6>
72. Nair, P. K. R. (2011.): Agroforestry Systems and Environmental Quality: Introduction. *Journal of Environmental Quality*, 40(3), 784–790. <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0076>
73. [Narodne novine NN 77/2013 \(2013.\): Pravilnik o praćenju, izvješćivanju i verifikaciji izvješća o emisijama stakleničkih plinova iz postrojenja i zrakoplova u razdoblju koje započinje 1. Siječnja 2013. Godine. Zagreb.](#)

74. Ocampo-Ariza, C., Vansynghe, J., Bertleff, D., Maas, B., Schumacher, N., Ulloque-Samatelo, C., Yovera, F.F., Thomas, E., Steffan-Dewenter, I., Tschardt, T. (2023.): Birds and bats enhance cacao yield despite suppressing arthropod mesopredation. *Ecol Appl.*, e2886. <https://doi.org/10.1002/eap.2886>.
75. Oelbermann, M., Voroney, R.P., Gordon, A.M. (2004.): Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and southern Canada. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 104, 359–377. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.04.001>.
76. Ong, C.K., Black, C.R., Wallace, J.S., Khan, A.A.H., Lott, J.E., Jackson, N.A., Howard, S.B., Smith, D.M. (2000.): Productivity, microclimate and water use in *Grevillea robusta*-based agroforestry systems on hillslopes in semi-arid Kenya. *Agr Ecosyst Environ*, 80, 121–141.
77. Ortiz, A. I., Benayas, J.M.R., Delgado, L.V. (2023.): Agroforestry improves soil fauna abundance and composition in the Atlantic Forest of Paraguay. *Agrofor. Syst.*, 97 (8), 1447–1463. <https://doi.org/10.1007/s10457-023-00869-5>.
78. Otabbong, E., Börling, K., Kätterer, T., & Mattsson, L. (2009.): Compatibility of the ammonium lactate (AL) and sodium bicarbonate (Olsen) methods for determining available phosphorus in Swedish soils. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Plant Soil Science*, 59(4), 373–378. <https://doi.org/10.1080/09064710902777091>
79. Otković Ištoka, I., Šraml, M. (2011): Using neural networks in the process of calibrating the microsimulation models in the analysis and design of roundabouts in urban areas.
80. Pandher, L.K., Gupta, R.K., Kukal, S.S. (2019.): Seasonal variations in C and N fractions under tree-based cropping systems in typical ustochrepts. *Tropical Ecology*. 60:455–461. <https://doi.org/10.1007/s42965-019-00047-8>
81. Pandher, L.K., Gupta, R.K., Kukal, S.S. (2020.): Soil organic carbon, its fractions and soil organic carbon stocks under different land use systems in Typic Ustochrepts of northwest India. *Tropical Ecology*. 61, 258–266. <https://doi.org/10.1007/s42965-020-00086-6>
82. Pavlidis, G., Karasali, H., Tsihrintzis, V.A. (2020.): Pesticide and fertilizer pollution reduction in two alley cropping agroforestry cultivating systems. *Water Air Soil Pollut*, 231: 241. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04590-2>.
83. Peichl, M., Thevathasan, N.V., Gordon, A.M., Huss, J., Abohassan, R.A. (2006.): Carbon sequestration potentials in temperate tree-based intercropping systems, southern Ontario, Canada. *Agrofor. Syst.*, 66, 243–257. <https://doi.org/10.1007/s10457->

[005-0361-8.](#)

84. Pinho, R.C., Miller, R.P., Alfaia, S.S. (2012.): Agroforestry and the Improvement of Soil Fertility: A View from Amazonia. *Applied and Environmental Soil Science* 2012, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2012/616383>
85. Pumariño, L., Sileshi, G.W., Gripenberg, S., Kaartinen, R., Barrios, E., Muchane, M.N., Midega, C., Jonsson, M. (2015.): Effects of agroforestry on pest, disease and weed control: A meta-analysis. *Basic Appl. Ecol.*, 16. DOI:10.1016/j.baae.2015.08.006
86. Ramesh, T., Manjaiah, K.M., Mohopatra, K.P., Rajasekar, K., Ngachan, S.V. (2015.): Assessment of soil organic carbon stocks and fractions under different agroforestry systems in subtropical hill agroecosystems of north-east India. *Agroforest Syst.* 9, 677–690. DOI 10.1007/s10457-015-9804-z
87. Raven, P.H., Wagner, D.L. (2021.): Agricultural intensification and climate change are rapidly decreasing insect biodiversity. *PNAS*, 118 (2). <https://doi.org/10.1073/pnas.2002548117>.
88. Rickards, L., Howden, S.M. (2012.): Transformational adaptation: agriculture and climate change. *Crop Pasture Sci.*, 63, 240–250. <http://dx.doi.org/10.1071/CP11172>.
89. Rosolem, C. A., & Steiner, F. (2017.). Effects of soil texture and rates of K input on potassium balance in tropical soil. *European Journal of Soil Science*, 68(5), 658–666. doi:10.1111/ejss.12460
90. Sainepo, B.M., Gachene, C.K., Karuma, A. (2018.): Assessment of soil organic carbon fractions and carbon management index under different land use types in Olesharo Catchment, Narok County, Kenya. *Carbon Balance Manage.* 13:4. <https://doi.org/10.1186/s13021-018-0091-7>
91. Santos, M., Cajaiba, R.L., Bastos, R., Gonzalez, D., Petrescu Bakış, A.L., Ferreira, D., Leote, P., da Silva, W.B., Cabral, J.A., Gonçalves, B., et al. (2022.): Why do agroforestry systems enhance biodiversity? Evidence from habitat amount hypothesis predictions. *Front. Ecol. Evol.*, 9, 63015. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.63015>.
92. Schwendenmann, L., Veldkamp, E., Moser, G., Hölscher, D., Köhler, M., Clough, Y., Anas, I., Djajakirana, G., Erasmi, S., Hertel, D., Leitner, D., Leuschner, C., Michalzik, B., Propastin, P., Tjoa, A., Tschardtke, T., van Straaten, O. (2010.): Effects of an experimental drought on the functioning of a cacao agroforestry system, Sulawesi, Indonesia. *Global Change Biology*, 16(5), 1515–1530. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02034.x>
93. Shi, L., Feng, W., Xu, J., Kuzyakov, Y. (2018.): Agroforestry systems: Meta-analysis of

-
- soil carbon stocks, sequestration processes, and future potentials. *Land Degrad Dev.* 29, 3886–3897. <https://doi.org/10.1002/ldr.3136>
94. SoilSurveyStaff 1951., 'Soil Survey Staff', Soil survey manual, USDA-ARS. Govt
 95. Sollen-Norrlin, M., Ghaley, B. B., Rintoul, N. L. J. (2020.): Agroforestry Benefits and challenges for adoption in Europe and beyond. *Sustainability*, 12 (17), 7001. <https://doi.org/10.3390/su12177001>.
 96. Stöcker, C.M., Bamberg, A.L., Stumpf, L., Monteiro, A.B., Cardoso, J.H., de Lima, A.C.R. (2020.): Short-Term Soil Physical Quality Improvements Promoted by an Agroforestry System. *Agroforestry Systems*, 94 (5), 2053–2064. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00524-3>
 97. Tadesse, S., Gebretsadik, W., Muthuri, C., Derero, A., Hadgu, K., Said, H., Dilla, A. (2021.): Crop productivity and tree growth in intercropped agroforestry systems in semi-arid and sub-humid regions of Ethiopia. *Agroforest Syst.* 95, 487–498. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00596-9>
 98. The Intergovernmental Panel on Climate Change. Available online: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2023/03/Doc4_Approved_AR6_SYR_SPM.pdf (accessed on 11 June 2023).
 99. Tirado, M.C., Clarke, R., Jaykus, L.A., McQuatters-Gollop, A., Frank, J.M. (2010.): Climate Change and Food Safety: A Review. *Food Research International*, 43 (7), 1745–1765. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.07.003>
 100. Tuel, A., Eltahir, E.A.B. (2020.): Why Is the Mediterranean a Climate Change Hot Spot?. *Journal of Climate*, 33,14, 5829–5843. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0910.1>
 101. Turner, B. L.; Yavitt, J. B.; Harms, K. E.; Garcia, M. N.; Wright, S. J. Seasonal Changes in Soil Organic Matter after a Decade of Nutrient Addition in a Lowland Tropical Forest. *Biogeochemistry* 2015, 123 (1-2), 221–235. <https://doi.org/10.1007/s10533-014-0064-1>
 102. Udawatta, R. P., Rankoth, L. M., Jose, S. (2019.): Agroforestry and Biodiversity. *Sustainability*, 11 (10), 2879. <https://doi.org/10.3390/su11102879>.
 103. Valenzuela-Balcázar, I.G., Visconti-Moreno, E.F., Faz, Á., Acosta, J.A. (2022.): Soil Organic Carbon Dynamics in Two Rice Cultivation Systems Compared to an Agroforestry Cultivation System. *Agronomy*. 12, 17. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010017>
 104. Vukadinović, V. i Lončarić, Z. (1998.): Ishrana bilja. Poljoprivredni fakultet u Osijeku.
 105. Waldron, A., Garrity, D., Malhi, Y., Girardin, C., Miller, D.C., Seddon, N. (2017.): Agroforestry can enhance food security while meeting other sustainable development

- goals. *Trop. Conserv. Sci*, 10, 1-6. <https://doi.org/10.1177/1940082917720667>.
106. Wang, H., Huang, Y., Huang, H., Wang, K.M., Zhou, S.Y. (2005.): Soil properties under young Chinese fir-based agroforestry system in mid-subtropical China. *Agroforestry Systems*. 64: 131–141. DOI 10.1007/s10457-004-0718-4
107. Wang, L., Zhong, C., Gao, P., Xi, W., Zhang, S. (2015.): Soil Infiltration Characteristics in Agroforestry Systems and Their Relationships with the Temporal Distribution of Rainfall on the Loess Plateau in China. *PloS One*, 10 (4), e0124767. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124767>.
108. Wang, W.; Ingwersen, J.; Yang, G.; Wang, Z.; Alimu, A. Effects of Farmland Conversion to Orchard or Agroforestry on Soil Organic Carbon Fractions in an Arid Desert Oasis Area. *Forests* 2022, 13 (2), 181. <https://doi.org/10.3390/f13020181>
109. Weil, R.R., Islam, K.R., Stine, M.A., Gruver, J.B., Samson-Liebig, S.E. (2003.): Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. *American Journal of Alternative Agriculture*. 18, 3 – 17. DOI:10.1079/AJAA200228
110. Wilson, M.H., Lovell, S.T. (2016.): Agroforestry The next step in sustainable and resilient agriculture. *Sustain. Sci.*, 8, 574; <https://doi.org/10.3390/su8060574>.
111. Xu, Z., Li, C., Zhang, C., Yu, Y., van der Werf, W., Zhang, F. (2020.): Intercropping maize and soybean increases efficiency of land and fertilizer nitrogen use; A meta-analysis. *Field Crops Res.*, 246, 107661. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107661>.
112. Yang, J., Zhang, Y., Yang, W., Tan, B., Yue, K., Fu, C., Ni, X., and Wu, F. (2018.): Newly shed litters contain an abundance of extractable humus carbon in a subalpine forest on the eastern Tibetan Plateau. *Ecosphere*. 9(9):e02432. 10.1002/ecs2.2432
113. Yang, T., Duan, Z.P., Zhu, Y., Gan, Y.W., Wang, B.J., Hao, X.D., Xu, W.L., Zhang, W., Li, L.H. (2019.): Effects of distance from a tree line on photosynthetic characteristics and yield of wheat in a jujube tree/wheat agroforestry system. *Agroforest. Syst.*, 93,1545–155 <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0267-x>.
114. Yannick, J., Said Mgelwa, A., Gurmesa, G.A., Uwiragiye, Y., Zhu, F., Qiu, Q., Fang, Y., Hu, B., Rennenberg, H. (2023.): Meta-Analysis Unveils Differential Effects of Agroforestry on Soil Properties in Different Zonobiomes. *Plant and Soil*, 496 (1-2), 589–607. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-06385-w>
115. Yasin, G., Nawaz, M.F., Zubair, M., Azhar, M.F., Gilani, M.M., Ashraf, M., Qin, A., Rahman, S.U. (2023.): Role of Traditional Agroforestry Systems in Climate Change Mitigation through Carbon Sequestration: An Investigation from the Semi-Arid Region

-
- of Pakistan. *Land*, 12 (2), 513. <https://doi.org/10.3390/land12020513>.
116. Zahoor, S., Dutt V., Mughal, A. H., Pala, N. A., Qaisar, K.N., Khan, P.A. (2021.): Apple-based agroforestry systems for biomass production and carbon sequestration: implication for food security and climate change contemplates in temperate region of Northern Himalaya, India. *Agroforest Syst.* 95, 367–382. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00593-y>
117. Zhang, G., Patuwo, B. E., Hu, M. Y. (1998): Forecasting with artificial neural networks: the state of the art. *International Journal of Forecasting*, 14, pp. 35-62.
118. Zhang, X., Zhang, W.C., Wu, W., Liu, H.B. (2022.): Horizontal and vertical variation of soil clay content and its controlling factors in China. *The Science of the Total Environment*, 864, 161141–161141. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161141>
119. Zhu, X., Chen, C., Jian, W., Yang, J., Zhang, W., Zou, X., Liu, W., Jiang, X. (2019.): Can intercrops improve soil water infiltrability and preferential flow in rubber-based agroforestry system? *Soil Tillage Res.*, 191, 327–339. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.017>
120. Zhu, X., Liu, W., Chen, J., Bruijnzeel, L.A., Mao, Z., Yang, X., Cardinael, R., Meng, F.R., Sidle, R.C., Seitz, S., et.al. (2020.): Reductions in water, soil and nutrient losses and pesticide pollution in agroforestry practices: a review of evidence and processes. *Plant Soil*, 453, 45–86. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04377-3>

7. SAŽETAK

Klimatske promjene predstavljaju ozbiljnu prijetnju globalnoj sigurnosti hrane, čineći ih jednim od najvećih izazova današnjice. Promjene klime uzrokovane su različitim faktorima, uključujući neodrživu potrošnju energije, promjene u korištenju zemljišta i nesrazmjernu proizvodnju i potrošnju energenata i prehrambenih proizvoda kao i sirovina. Poljoprivreda i klimatske promjene usko su povezani jer moderna poljoprivreda značajno doprinosi globalnom zagrijavanju emisijama stakleničkih plinova, dok istovremeno pati od tih promjena. Agrošumski sustavi nude rješenje integrirajući poljoprivredu i šumarstvo, čime se zadovoljavaju zahtjevi za pošumljavanjem, biomasom i proizvodnjom hrane. Agrošumarstvo, koje uključuje integraciju drveća i grmova u poljoprivredne sustave, nudi dugoročna rješenja za sigurnost hrane i smanjenje ekološke degradacije, a od 1970-ih je postalo prepoznato kao ključni alat za rješavanje globalnih izazova. Ovo istraživanje imalo je za cilj analizirati utjecaj konsocijacijskih uzgojnih sustava na dinamiku organske tvari i ugljika u tlu te njihovu ulogu u sekvestraciji ugljika. Istraživački pokus postavljen je na dva lokaliteta smještena u istočnim županijama Republike Hrvatske (Osječko-baranjska županija, područje Đakova i Vukovarsko-srijemska županija, područje Ivankova). Na oba lokaliteta provodila se poljoprivredna proizvodnja u skladu s načelima ekološke poljoprivrede, čime se osiguravalo očuvanje tla i održivost uzgoja. Svaki od lokaliteta bio je podijeljen na tri eksperimentalne parcele: kontrola, voćnjak i konsocijacija. Na svim tretmanima utvrđena su fizikalna svojstva tla i osnovna kemijska svojstva tla po metodama propisanim kontrolama plodnosti u Republici Hrvatskoj. Isto tako, na svim tretmanima na oba lokaliteta utvrđena je sekvestracija ugljika i emisija CO₂. Nadalje, provedena je i usporedba dviju metoda određivanja organskog ugljika (organske tvari) u tlu (bikormatna i Tjurin) kako bi se utvrdila njihova točnost i primjenjivost. Dobiveni rezultati poslužili su za razvoj regresijskog modela predikcije organske tvari kao i modela neuronskih mreža koji su koristili iste ulaze varijable: sadržaj organske tvari i supstitucijsku pH. Rezultati istraživanja provedenog na istraživanim lokalitetima pokazali su da konsocijacijski sustavi značajno doprinose povećanju sadržaja organske tvari i organskog ugljika u tlu, čime izravno utječu na poboljšanje njegove plodnosti dok se sekvestracija ugljika pokazala značajno većom u konsocijacijskim sustavima u odnosu na kontrolne varijante. Komparativna analiza metoda za određivanje organske tvari u tlu pokazala je visoku korelaciju između analiziranih metoda, a razvijeni modeli pokazali su se jednostavnima i vrlo primjenjivima u praksi.

8. SUMMARY

Climate change poses a serious threat to global food security, making it one of the greatest challenges of our time. Climate change is caused by various factors, including unsustainable energy consumption, land use changes, and disproportionate production and consumption of energy and food products as well as raw materials. Agriculture and climate change are closely linked, as modern agriculture contributes significantly to global warming through greenhouse gas emissions, while at the same time suffering from these changes. Agroforestry systems offer a solution by integrating agriculture and forestry, thereby meeting the demands for afforestation, biomass, and food production. Agroforestry, which involves the integration of trees and shrubs into agricultural systems, offers long-term solutions for food security and reducing environmental degradation, and has been recognized as a key tool for addressing global challenges since the 1970s. This research aimed to analyze the impact of consociational cropping systems on soil organic matter and carbon dynamics and their role in carbon sequestration. The research experiment was set up at two locations located in the eastern counties of the Republic of Croatia. The first location was in Osijek-Baranja County, in the Đakovo area, while the second was in Vukovar-Srijem County, in Ivanka. At both locations, agricultural production was carried out in accordance with the principles of organic agriculture, which ensured soil conservation and sustainability of cultivation. Each location was divided into three experimental plots: control, orchard and consociation. In all treatments, the physical properties of the soil and the basic chemical properties of the soil were determined according to the methods prescribed by fertility controls in the Republic of Croatia. Likewise, carbon sequestration and CO₂ emissions were determined in all treatments at both locations. Furthermore, a comparison of two methods for determining organic carbon (organic matter) in soil (bichormate and Tjurin) was carried out in order to determine their accuracy and applicability. The obtained results were used to develop a regression model for predicting soil organic matter content as well as a neural network model that used the same input variables: organic matter content and substitution pH. The results of the research conducted at the research sites showed that consociational systems significantly contribute to increasing the content of organic matter and organic carbon in the soil, which directly affects the improvement of its fertility, while carbon sequestration was significantly higher in consociational systems compared to control variants. A comparative analysis of methods for determining organic matter in the soil showed a high correlation between the analyzed methods, and the developed models proved to be simple and very applicable in practice.

9. PRILOG

Prilog 1. Prikaz agrokemijskih svojstava tla na lokalitetu Đakovo

Redni broj	pHH ₂ O	pHKCl	Organska tvar (%)	P ₂ O ₅ - AL	K ₂ O- AL
1	8,18	7,39	1,83	3,83	19,28
2	8,23	7,48	1,93	0,83	20,15
3	7,97	7,48	1,86	1,06	24,35
4	8,09	7,57	1,62	1,30	15,19
5	8,25	7,54	1,66	0,99	14,11
6	8,21	7,51	1,93	1,38	17,45
7	8,32	7,51	1,69	0,64	17,70
8	8,24	7,45	1,59	0,33	20,41
9	8,16	7,55	2,10	1,07	17,82
10	6,23	5,11	1,72	14,53	14,15
11	6,10	4,71	1,31	6,99	10,69
12	5,34	4,23	1,76	11,20	8,15
13	5,53	4,40	1,21	10,88	5,49
14	5,29	3,93	1,72	7,53	13,23
15	5,30	3,95	1,38	6,07	11,32
16	5,28	4,12	1,79	7,18	13,37
17	5,34	4,20	1,28	7,06	8,99
18	5,26	4,19	1,83	4,51	12,07
19	5,53	4,24	1,52	5,30	10,36
20	5,36	4,22	1,59	8,03	11,58
21	5,29	4,08	1,41	7,41	9,29
22	5,10	3,96	1,55	5,25	10,14
23	5,27	4,09	1,48	4,66	9,66
24	5,12	3,92	1,59	6,72	10,82
25	5,21	3,97	1,52	6,59	9,58
26	6,05	5,18	2,34	7,35	17,11
27	6,25	5,27	1,66	6,42	9,20
28	6,69	5,92	1,97	7,30	13,04
29	6,74	5,88	1,72	7,70	11,03
30	6,27	5,21	3,03	6,89	15,43
31	6,42	5,06	1,69	5,62	9,79
32	6,30	5,37	2,41	8,42	14,64
33	6,43	5,33	1,69	6,89	11,31
34	5,98	4,81	4,65	8,57	13,42
35	6,15	4,84	2,41	7,09	9,68
36	5,81	4,57	1,90	7,13	14,37
37	5,86	4,53	1,45	6,25	11,05
38	5,85	4,55	1,79	6,18	12,79
39	5,82	4,35	1,59	5,77	10,28
40	6,98	5,92	1,90	11,16	12,64
41	6,99	5,86	1,83	11,12	12,20
42	6,00	4,60	2,03	7,64	19,38

43	6,25	4,71	1,21	6,93	11,71
44	5,86	4,39	1,97	5,15	12,32
45	5,87	4,44	2,00	5,17	14,16
46	6,35	5,19	2,65	11,66	27,47
47	6,47	5,41	1,90	11,53	22,82
48	6,39	5,26	2,52	8,76	17,35
49	6,56	5,38	2,03	7,76	13,04
50	6,20	5,13	2,59	5,03	39,58
51	6,42	5,26	2,03	8,84	19,17
52	6,00	4,83	2,72	7,16	21,62
53	5,92	4,49	1,79	5,38	12,49
54	5,82	4,41	3,31	25,37	57,91
55	6,55	5,28	2,48	20,20	49,02
56	5,95	4,65	2,41	5,92	16,19
57	5,88	4,44	1,62	4,95	11,32
58	6,76	6,29	2	22,41	16,58
59	6,26	4,83	1,34	11,52	14,12
60	6,72	6,27	1,72	10,47	14,1
61	7,07	6,27	1,17	7,15	13,19
62	5,51	3,98	1,79	6,77	11,49
63	5,71	4,31	1,24	5,79	14,01
64	5,18	3,92	1,83	6,78	14,97
65	5,65	4,37	1,31	5,39	13,98
66	5,68	4,61	1,97	6,57	17,08
67	6,1	4,86	1,07	5,14	15,09
68	5,87	4,85	1,83	8,4	14,39
69	6,18	4,85	1,07	4,56	16,28
70	5,81	4,41	2,38	4,51	15,29
71	6,00	4,62	1,21	4,57	15,04
72	6,38	5,29	2,17	10,17	17,57
73	6,46	5,24	1,52	6,48	14,54
74	6,27	4,81	1,9	8,51	14,86
75	6,35	4,77	1,48	4,24	13,53
76	5,94	4,54	2,34	6,64	14,19
77	6,13	4,47	1,17	4,58	14,27
78	5,66	4,36	2,07	8,27	16,33
79	5,93	4,33	0,93	6,1	14,01
80	6,99	5,86	1,52	13,61	16,2
81	7,03	6,1	1,69	19,18	21,12
82	6,05	4,68	2,55	9,6	22,06
83	6,37	4,78	0,86	5,5	15,38
84	7,58	7,04	1,31	17,36	17,14
85	6,88	5,69	1,38	9,88	13,82
86	6,15	4,79	2,03	8,6	21,42
87	6,26	4,79	1,48	6,51	16,19
88	6,48	5,53	2,69	26,19	29,3
89	6,65	5,08	1,24	6,72	17,21
90	6,04	4,54	1,21	6,45	26,73
91	6,18	4,58	1,14	5,28	16,63

92	5,98	4,42	2,1	4,41	15,16
93	6,29	5,02	1	5,36	15,34
94	6,12	4,51	2,03	15,76	14,77
95	6,54	5,31	1,21	6,12	15,61
96	6,87	6,39	2,17	8,03	13,51
97	7,07	6,52	2,21	6,77	13,06
98	6,08	4,94	3,59	26,08	32,05
99	7,66	6,86	1,79	33,98	14,6
100	8,1	7,42	1,79	41,11	18,27
101	7,72	7,01	1,31	25,15	13,77
102	7,66	6,9	1,83	16,18	10,52
103	5,16	4,19	1,79	12,03	10,4
104	5,44	4,33	1,69	12,87	11,26
105	5,4	4,24	1,69	8,584	9,524
106	5,72	4,4	1,34	7,848	8,842
107	5,39	4,37	2,03	7,219	16,61
108	5,53	4,4	2	7,417	15,62
109	8,08	7,39	1,52	20,67	13,88
110	8	7,47	1,69	16,91	14,84
111	5,27	4,04	1,97	6,884	14,82
112	5,2	3,97	1,79	6,731	13,76
113	4,9	3,8	1,66	9,153	14,09
114	5,18	3,95	1,9	6,922	11,89
115	6,29	5,21	1,31	10,06	14,2
116	6,57	5,51	1,62	8,82	12,52
117	6,79	6,08	2,17	11,94	14,09
118	6,67	5,57	1,59	7,811	12,97
119	6,14	4,89	2,48	11,06	16,9
120	6,36	5,1	1,66	7,496	13,9
121	5,79	4,89	2,07	8,381	16,45
122	5,94	4,62	1,38	6,411	13,98
123	5,91	4,97	2,48	16,16	19,61
124	6,07	5,08	2,14	14,01	19,65
125	5,75	4,73	2,03	8,093	13,73
126	6,01	4,73	1,31	6,279	11,95
127	5,71	4,57	2,21	11,05	18,37
128	5,77	4,52	1,59	8,322	16,14
129	7,17	6,41	1,79	12,25	14,69
130	7,05	6,37	1,69	12,3	14,27
131	6	4,97	2	8,951	17,16
132	5,78	4,63	1,41	7,413	13,96
133	5,95	4,87	1,93	7,606	14,77
134	5,78	4,35	1,48	5,832	12,24
135	5,83	4,7	2	9,275	19,38
136	6,22	5,01	1,59	7,775	13,68
137	6,74	5,9	2,1	9,656	14,52
138	6,82	5,98	1,52	7,56	13,93
139	5,55	4,35	1,72	16,14	14,49
140	5,86	4,52	1,24	10,49	13,22

141	6,38	5,55	1,76	24,7	16,21
142	5,87	4,83	1,55	15,01	12,6
143	5,66	4,16	1,79	10,31	15,4
144	5,57	4,24	1,48	8,46	12,81
145	5,48	3,94	1,72	8,03	13,04
146	5,92	4,33	1,21	7,01	14,48
147	5,62	4,1	1,69	6,86	13,4
148	5,58	4,08	1,86	6,57	13,33
149	5,64	4,14	2	8,15	15,83
150	5,83	4,39	1,17	6,21	13,58
151	5,53	3,9	1,55	6,76	12,9
152	5,66	4,06	1,66	6,77	15,25
153	5,53	3,97	1,66	7,85	16,27
154	5,89	4,35	1,1	6,74	13,42
155	6,53	5,94	2,38	11,52	16,01
156	6,98	6,13	1,9	9,61	15,22
157	6,67	5,4	2,24	9,09	16,73
158	6,6	5,48	1,93	6,98	14,77
159	6,58	5,41	2,28	11,45	17,96
160	6,61	5,29	1,93	8,6	17,25
161	6,54	4,93	1,93	7,41	15,38
162	6,22	4,82	1,9	6,58	15,36
163	6,11	4,56	2,41	11,54	17,68
164	6,25	5,08	1,62	9,14	14,44
165	5,82	4,52	1,72	7,86	14,31
166	5,97	4,64	1,17	5,8	13,94
167	6,23	5,34	2,45	7,54	15,56
168	5,99	4,75	1,59	6,09	12,31
169	7,01	6,17	1,86	12,1	16,06
170	6,58	5,27	0,93	7,76	13,9946
171	7,89	7,33	2,55	46,35	35,0425
172	6,88	5,87	1,48	12,06	17,4076
173	6,37	5,13	2,03	10,28	17,571
174	6,17	4,88	1,21	7,41	14,6607
175	6,22	5,21	2,55	16,65	31,0483
176	6,57	5,25	1,59	9,55	16,5254
177	6,6	5,38	2,1	8,35	15,457
178	5,58	4,64	1,14	6,78	15,2858
179	5,99	4,92	2,65	9,5	26,85
180	5,91	4,63	1,45	5,26	14,26
181	5,81	4,5	2,21	8,72	22,25
182	6,27	4,81	1,07	5,41	15,06
183	6,2	5,21	2,55	11,67	21,27
184	6,56	5,53	1,31	7,38	12
185	6,73	5,83	1,76	7,52	10,17
186	6,63	5,26	1,07	6,21	13,33

Prilog 2. Prikaz agrokemijskih svojstava tla na lokalitetu Ivankovo

Redni broj	Lokalitet	Dubina uzorkovanja	pHH ₂ O	pHKCl	Organska tvar (%)	P ₂ O ₅ -AL	K ₂ O-AL
1	Ivankovo	0-30	8,22	7,45	1,48	20,46	16,67
2	Ivankovo	30-60	8,27	7,47	1,48	19,07	16,31
3	Ivankovo	0-30	7,8	6,78	1,38	14,43	18,03
4	Ivankovo	30-60	6,67	5,26	1,21	12,75	20,00
5	Ivankovo	0-30	7,81	6,8	1,55	14,3	18,02
6	Ivankovo	30-60	7,35	6,18	1,17	12,88	18,24
7	Ivankovo	0-30	5,87	4,42	1,72	12,45	20,63
8	Ivankovo	30-60	5,64	4,26	1,59	12,51	19,92
9	Ivankovo	0-30	7,39	6,55	1,38	15,33	18,30
10	Ivankovo	30-60	6,51	5,12	1,1	12,87	16,58
11	Ivankovo	0-30	7,84	7,34	1,45	15,36	16,50
12	Ivankovo	30-60	6,94	6,03	1,76	11,37	16,59
13	Ivankovo	0-30	6,58	5,82	1,69	17,12	17,28
14	Ivankovo	30-60	6,6	5,67	1,34	15,93	15,87
15	Ivankovo	0-30	7,03	6,33	1,59	19,03	20,65
16	Ivankovo	30-60	6,83	5,86	1,55	19,52	21,76
17	Ivankovo	0-30	5,48	4,09	1,59	14,06	24,45
18	Ivankovo	30-60	5,24	3,74	1,31	12,86	20,30
19	Ivankovo	0-30	6,14	4,94	1,76	14,69	19,82
20	Ivankovo	30-60	6,01	4,46	1,52	12,53	19,78
21	Ivankovo	0-30	5,75	4,45	1,69	11,92	21,13
22	Ivankovo	30-60	5,61	4,35	1,62	14,08	20,39
23	Ivankovo	0-30	6,71	5,55	1,83	13,09	22,53
24	Ivankovo	30-60	6,32	4,98	1,66	11,81	19,28
25	Ivankovo	0-30	5,82	4,63	1,69	12,5	19,93
26	Ivankovo	30-60	6,04	4,79	1,76	13,93	20,51
27	Ivankovo	0-30	5,71	4,45	2,28	11,14	15,63
28	Ivankovo	30-60	5,7	4,43	1,59	10,39	14,51
29	Ivankovo	0-30	5,59	4,45	1,72	11,91	17,74
30	Ivankovo	30-60	5,38	4,14	1,59	12,35	18,43
31	Ivankovo	0-30	5,55	4,24	1,93	10,48	18,52
32	Ivankovo	30-60	5,44	4,06	1,41	14,19	15,27
33	Ivankovo	0-30	6,32	4,84	2,34	11,41	21,93
34	Ivankovo	30-60	6,14	4,66	2,65	10,33	18,25
35	Ivankovo	0-30	6,65	5,48	2,17	11,77	13,15
36	Ivankovo	30-60	6,80	5,55	2,55	12,55	13,79
37	Ivankovo	0-30	6,26	4,84	2,97	10,27	19,15
38	Ivankovo	30-60	6,01	4,60	2,17	10,09	17,11
39	Ivankovo	0-30	5,53	4,12	2,69	11,02	20,83
40	Ivankovo	30-60	5,47	4,11	2,90	11,09	17,99
41	Ivankovo	0-30	7,93	7,07	2,24	27,46	22,51
42	Ivankovo	30-60	7,83	6,95	2,83	18,24	13,38
43	Ivankovo	0-30	7,29	5,92	2,17	15,56	17,43

44	Ivankovo	30-60	6,67	4,82	1,86	12,12	14,24
45	Ivankovo	0-30	8,02	7,19	2,38	23,95	23,95
46	Ivankovo	30-60	7,79	6,62	2,17	15,81	16,92
47	Ivankovo	0-30	8,12	7,29	2,07	23,11	23,13
48	Ivankovo	30-60	6,57	5,02	1,38	10,17	17,93
49	Ivankovo	0-30	5,93	4,78	2,17	16,89	31,12
50	Ivankovo	30-60	5,94	4,40	1,48	14,49	20,25
51	Ivankovo	0-30	6,08	4,79	2,14	13,08	19,24
52	Ivankovo	30-60	5,95	4,28	1,45	12,05	17,01
53	Ivankovo	0-30	6,53	5,73	2,10	15,06	21,58
54	Ivankovo	30-60	6,43	5,26	1,69	12,67	15,91
55	Ivankovo	0-30	7,28	6,35	2,17	21,18	28,57
56	Ivankovo	30-60	6,69	5,31	1,62	16,25	22,62
57	Ivankovo	0-30	5,88	4,23	2,10	12,75	26,33
58	Ivankovo	30-60	5,67	4,03	1,48	12,51	24,69
59	Ivankovo	0-30	6,20	4,78	2,14	12,38	26,37
60	Ivankovo	30-60	5,93	4,10	1,52	12,16	18,08
61	Ivankovo	0-30	6,02	4,61	2,48	10,36	17,36
62	Ivankovo	30-60	5,88	4,33	1,31	11,43	14,35
63	Ivankovo	0-30	6,62	5,53	1,28	13,53	17,65
64	Ivankovo	30-60	6,30	4,80	1,97	10,49	13,85
65	Ivankovo	0-30	6,30	5,02	2,24	16,29	25,56
66	Ivankovo	30-60	6,14	4,70	1,69	14,45	22,37
67	Ivankovo	0-30	6,03	5,30	1,97	16,99	31,22
68	Ivankovo	30-60	6,13	5,05	1,21	13,79	19,97
69	Ivankovo	0-30	6,34	5,49	1,69	19,23	25,71
70	Ivankovo	30-60	6,60	5,68	1,62	21,34	22,17
71	Ivankovo	0-30	5,91	4,78	2,07	15,23	33,81
72	Ivankovo	30-60	5,75	4,52	1,59	17,17	23,58
73	Ivankovo	0-30	7,21	6,29	1,66	16,24	17,82
74	Ivankovo	30-60	7,1	6,06	1,41	16,52	16,89
75	Ivankovo	0-30	8,13	7,54	2,07	23	20,7
76	Ivankovo	30-60	7,08	6,13	1,1	13,12	15,29
77	Ivankovo	0-30	5,97	4,4	1,76	10,37	17,24
78	Ivankovo	30-60	5,7	4,35	1,79	11,5	18,15
79	Ivankovo	0-30	5,89	4,81	2	9,68	19,61
80	Ivankovo	30-60	6,02	4,59	1,21	7,69	15,76
81	Ivankovo	0-30	8,34	7,68	1,79	30,87	27,64
82	Ivankovo	30-60	7,86	6,49	1,79	19,75	15,45
83	Ivankovo	0-30	8,33	7,68	1,1	17,46	17,86
84	Ivankovo	30-60	6,84	5,93	1,14	10,9	16,53
85	Ivankovo	0-30	8,31	7,66	1,9	22,26	24,94
86	Ivankovo	30-60	8,04	7,09	1,14	14,17	19,74
87	Ivankovo	0-30	7,19	6,2	1,83	16,84	24,87
88	Ivankovo	30-60	6,69	4,83	0,9	9,41	16,15
89	Ivankovo	0-30	7,4	6,48	2	25,46	36,37

ŽIVOTOPIS

Ante Bubalo rođen je 16. studenoga 1993. godine u Osijeku, Republici Hrvatskoj, gdje je završio svoje osnovno i srednjoškolsko obrazovanje. Godine 2012. upisuje preddiplomski sveučilišni studij *Agroekonomika* na Poljoprivrednom fakultetu Sveučilišta u Osijeku, koji uspješno završava. Potom 2016. godine upisuje diplomski studij *Ekološka poljoprivreda*, a zbog izvrsnih akademskih rezultata, 2017. godine paralelno upisuje i diplomski studij *Povrćarstvo i cvjećarstvo*.

Tijekom studija istaknuo se kao izvrstan student te je 2018. godine dobitnik dviju Dekanovih pohvala – za uspješnost u studiranju te za izniman doprinos izvannastavnim aktivnostima. Iste godine dobiva i Sveučilišnu studentsku stipendiju za izvrsnost. Aktivno je sudjelovao u organizaciji međunarodne znanstvene konferencije *3rd International Scientific Conference: Sustainability Challenges in Agroecosystems*.

Od 9. studenoga 2020. zaposlen je na Fakultetu agrobiotehničkih znanosti Osijek kao asistent na projektu Hrvatske zaklade za znanost (HRZZ) *Konsocijacija drvenastih vrsta i poljoprivrednih kultura kao inovativan pristup u agroekosustavima*, pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Vladimira Ivezića. U prosincu iste godine upisuje poslijediplomski sveučilišni doktorski studij *Poljoprivredne znanosti*, smjer *Agrokemija*.

Tijekom 2022. godine imao je usmeno izlaganje na *6th European Agroforestry Conference* u Italiji, a svoje znanstvene radove predstavljao je i na *2. Međunarodnoj studentskoj Green konferenciji*, *Joint International Congress on Farm Animal Diversity*, *31st Annual Conference of the International Association for the Conservation of Animal Breeds in the Danube Region (DAGENE)*, *57. Hrvatskom i 17. Međunarodnom simpoziju agronoma*, kao i na *14. Kongresu Hrvatskog tloznanstvenog društva*, gdje je sudjelovao s poster prezentacijom. Aktivno sudjeluje i u popularizaciji znanosti, između ostalog i na *Festivalu znanosti 2022. godine* te *Danu doktorata 2023. godine*.

Član je *Hrvatskog tloznanstvenog društva (HTD)* te *European Agroforestry Federation (EURAF)*.

U sklopu Erasmus+ mobilnosti – stručnog osposobljavanja, 2023. godine proveo je dva mjeseca na *Norwegian University of Life Sciences (NMBU)* u Norveškoj. U okviru programa *Erasmus Cooperation Partnerships in Higher Education* sudjelovao je u više međunarodnih projektnih aktivnosti: 2023. godine na *Sveučilištu u Temišvaru* (Rumunjska), te 2024. godine na *Sveučilištu u Nitri* (Slovačka) i *Sveučilištu University of Calabria* (Italija).