

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

Ante Bubalo, 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 _____ (datum i godina) pred
Povjerenstvom za obranu:**

- 1. izv.prof.dr.sc. Vladimir Ivezić, 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.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Doktorski rad

Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Doktorski studij: Poljoprivredne znanosti

Modul: Agrokemija

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 humusa (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 humusa u tlu.

Broj stranica: 174

Broj slika: 3

Broj tablica: 60

Broj literaturnih navoda: 105

Jezik izvornika: hrvatski

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

Datum obrane:

Povjerenstvo za obranu :

- 1. izv.prof.dr.sc. Vladimir Ivezić, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek - predsjednik**
- 2. prof.dr.sc. Boris Đurđević, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek - član**
- 3. prof.dr.sc. Irena Ištoka-Otković, 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: 174
Number of figures: 3
Number of tables: 60
Number of references: 105
Original in: Croatian

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

Date of the thesis defense:

Reviewers:

- 1. PhD Vladimir Ivezić, Associate 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 stakleničkih plinova iz poljoprivredne proizvodnje	13
1.9. Cilj istraživanja.....	15
2. MATERIJAL I METODE RADA	16
2.1. Lokalitet Đakovo	16
2.2. Lokalitet Ivankovo	16
2.3. Uzorkovanje tla i analize	17
2.4. Izračun zaliha ugljika u tlu	20
2.5. Dodatne analize organskog ugljika u tlu	21
2.6. Usporedba dvaju analiza određivanja sadržaja humusa u tlu	21
2.7. Fizikalna svojstva tla	22
2.8. Statistička obrada podataka	23
3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA	24
3.1. Osnovna kemijska svojstva tla na lokalitetu Đakovo i Ivankovo	24
3.1.1. <i>Agrokemijska svojstva tla na lokalitetu Đakovo</i>	26
3.1.1.1. pH reakcija tla na lokalitetu Đakovo.....	26
3.1.1.2. Sadržaj humusa u tlu na lokalitetu Đakovo	28
3.1.1.3. Sadržaj fosfora u tlu na lokalitetu Đakovo	30
3.1.1.4. Sadržaj kalija u tlu na lokalitetu Đakovo	33
3.1.2. <i>Prikaz agrokemijskih svojstava tla na lokalitetu Ivankovo</i>	34
3.1.2.1. pH reakcija tla na lokalitetu Ivankovo	35
3.1.2.2. Sadržaj humusa u tlu na lokalitetu Ivankovo	36
3.1.2.3. Sadržaj fosfora u tlu na lokalitetu Ivankovo	37
3.1.2.4. Sadržaj kalija u tlu na lokalitetu Ivankovo	39

3.2. Prikaz fizikalnih svojstava tla na lokalitetu Đakovo i Ivankovo	41
3.2.1. Prikaz fizikalnih svojstava tla na lokalitetu Đakovo	41
3.2.2. Prikaz fizikalnih svojstava tla na lokalitetu Ivankovo	42
3.3. Komparativne metode određivanja humusa u tlu.....	44
3.3.1. Lokalitet Đakovo	44
3.3.1.1. Kategorija <2% humusa.....	44
3.3.1.2. Kategorija 2.1-2.5 % humusa.....	46
3.3.1.3. Kategorija >2,5% humusa.....	47
3.3.2. Lokalitet Ivankovo	49
3.3.2.1. Kategorija <2% humusa.....	49
3.3.2.2. Kategorija 2.1-2.5% humusa.....	50
3.3.2.3. Kategorija >2.5% humusa.....	52
3.4. Modeli usporedbe metoda za određivanje humusa u tlu	53
3.4.1. Regresijski modeli	54
3.4.1.1. Regresijski model usporedbe bikromatne i metode po Tjurinu na lokalitetu Đakovo .	56
3.4.1.2. Regresijski model usporedbe bikromatne i metode po Tjurinu na lokalitetu Ivankovo	57
3.5. Neuronske mreže	58
3.5.1. Neuronske mreže na lokalitetu Đakovo.....	59
3.5.2. Neuronske mreže na lokalitetu Ivankovo	60
3.6. Izračun sekvestracije ugljika i emisija CO ₂ na lokalitetima Đakovo i Ivankovo	62
3.6.1. Početne vrijednosti sadržaja humusa i organskog ugljika na lokalitetima Đakovo i Ivankovo	62
3.6.2. Pregled sekvestracije ugljika te emisija CO ₂ na lokalitetu Đakovo	64
3.6.2.1. Uzorkovanje tla u 2018. godini.....	64
3.6.2.2. Uzorkovanje tla u 2019. godini.....	67
3.6.2.3. Uzorkovanje tla u 2020. godini.....	71
3.6.2.4. Uzorkovanja tla u 2021. godini.....	73
3.6.2.5. Uzorkovanja u 2022. godini.....	88
3.6.2.6. Đakovo – usporedba rezultata od 2018.-2022.....	98
3.6.2.7. Sekvestracija ugljika na lokalitetu Đakovo	99
3.6.2.8. Zalihe i sekvestracija ugljika u tlu na lokalitetu Đakovo	99
3.6.2.9. Emisije CO ₂ na lokalitetu Đakovo	103
3.6.3. Pregled sekvestracije ugljika te emisija CO ₂ na lokalitetu Ivankovo	104
3.6.3.1. Uzorkovanje tla u 2018. godini.....	104

3.6.3.2. Uzorkovanja tla u 2019. godini.....	106
3.6.3.3. Uzorkovanje tla u 2020. godini.....	112
3.6.3.4. Uzorkovanja tla u 2021. godini.....	115
3.6.3.5. Uzorkovanja tla u 2022. godini.....	124
3.6.3.6. Zalihe i sekvestracija ugljika u tlu na lokalitetu Ivankovo	130
3.6.3.7. Emisije CO ₂ na lokalitetu Ivankovo	134
4. RASPRAVA	136
4.1. Osnovna agrokemijska svojstva tla na lokalitetu Đakovo i Ivankovo.....	136
4.2. Osnovna fizikalna svojstva tla na lokalitetu Đakovo i Ivankovo	137
4.3. Komparativne metode određivanja humusa u tlu.....	138
4.4. Modeli usporedbe metoda za određivanje humusa u tlu	139
4.5. Izračun sekvestracije ugljika i emisija CO ₂ na lokalitetima Đakovo i Ivankovo	142
5. ZAKLJUČCI	145
6. LITERATURA.....	148
7. SAŽETAK.....	157
8. SUMMARY	158
9. PRILOG	159

1. UVOD

Klimatske promjene predstavljaju ozbiljnu prijetnju globalnoj sigurnosti hrane, čineći ih jednim od najvećih izazova današnjice. 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 poboljšavaju sadržaj humusa u tlu (Oelbermann i sur., 2004.). Klimatska prilagodba prepoznaje nužnost transformacijskih promjena, koje uključuju dublje promjene u društvenim i ekološkim sustavima, kako bi se odgovorio 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 humusa 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. Humus nije samo pokazatelj razine ugljika već i ključno skladište sekvestriranog 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 humusa 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.).

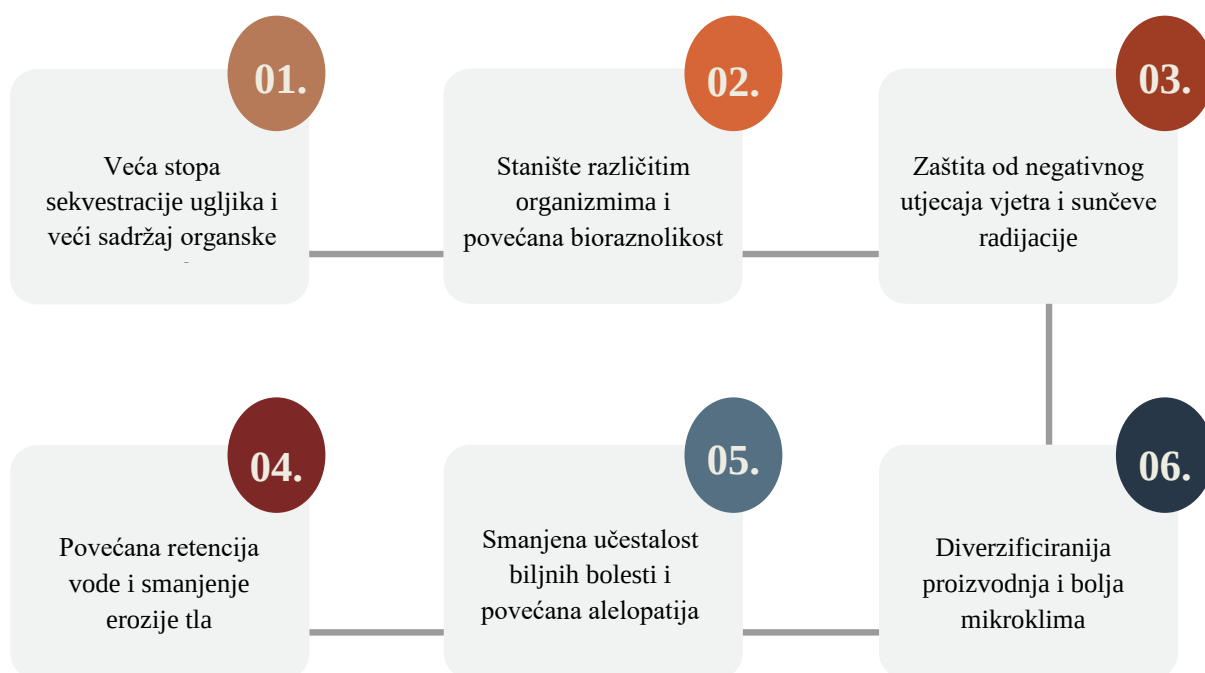
Labilna frakcija ugljika u tlu je ključna za kruženje hraniva i biološka svojstva tla, te se naziva aktivnom zalihom, dok je pasivni ugljik sporo promjenjiva, visokootporna zaliha. Promjene u labilnim frakcijama mogu ukazivati na degradaciju tla ili poboljšanja uslijed boljih upravljačkih praksi (Weil 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 humusa, 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.



Shema 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.

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 tлом, prekomjerna mineralna gnojdba, 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. Osim toga, agrošumarske prakse, potiču proliferaciju i raznolikost mikroorganizama u tlu, smanjuju eroziju tla i pozitivno utječu na upravljanje otjecanjem, 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 gnojidbe 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, crva 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 humusa, čime doprinosi poboljšanju plodnosti tla i održivosti poljoprivredne proizvodnje. Wang i sur. (2005.) ističu da je kvaliteta humusa 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 humusa, 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 humusa.

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 vjetra 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 nalaze 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:

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

gdje je:

- C sadržaj organskog ugljika (%)
- ρ_{soil} volumna gustoća tla ($t m^{-3}$)
- 3000 volumen tla u 1 ha (za sloj tla debljine 30 cm)

Ove formule omogućuju precizniju procjenu sekvencijacije 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 stakleničkih plinova 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 CO_2 (Wilson i Lovell, 2016). Agrošumski sustavi pokazuju veće razine organskog ugljika u tlu (SOC) u usporedbi s monocropskim sustavima i posjeduju veće ukupne zalihe ugljika od monokulturnih sustava (raspon od 54% do 127%, ovisno o različitim oblicima agrošumarstva) (Yasin et al. 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 et al. 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 et al. 2014). Različiti AFS-ovi imaju različite stope smanjenja CO_2 po toni po hektaru godišnje. Na primjer, poljoprivreda s drvećem obično pokazuje stope oko 7,5 t $CO_2e ha^{-1} god^{-1}$, dok sustavi međusjetve (uzgoj usjeva u blizini već uspostavljenih drveća) pokazuju stope u rasponu od 4,6 do 6,3 t $CO_2e ha^{-1} god^{-1}$ (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

Ciljevi

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 organsku tvar i organski ugljik u tlu, doprinoseći poboljšanju njegove plodnosti.
- Ovakvi uzgojni sustavi poboljšavaju stopu sekvestracije ugljika, smanjujući gubitke CO₂ u atmosferu.
- Smanjenje emisije CO₂ kroz veću sekvestraciju ugljika može doprinijeti ublažavanju klimatskih promjena i smanjenju efekta staklenika.
- Ovim istraživanjem želi se pridonijeti boljem razumijevanju povezanosti uzgojnih sustava, dinamike organskog ugljika i ekološke održivosti tla.

2. MATERIJAL I METODE RADA

Istraživački pokus postavljen je na dva lokaliteta smještena u istočnim županijama Republike Hrvatske. Prvi lokalitet bio je u Osječko-baranjskoj županiji, na području Đakova, dok je drugi bio u Vukovarsko-srijemskoj županiji, u Ivankovu. 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:

1. **Kontrolna parcela** – na kojoj se provodio monokulturni 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 eksperimentalnih 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,

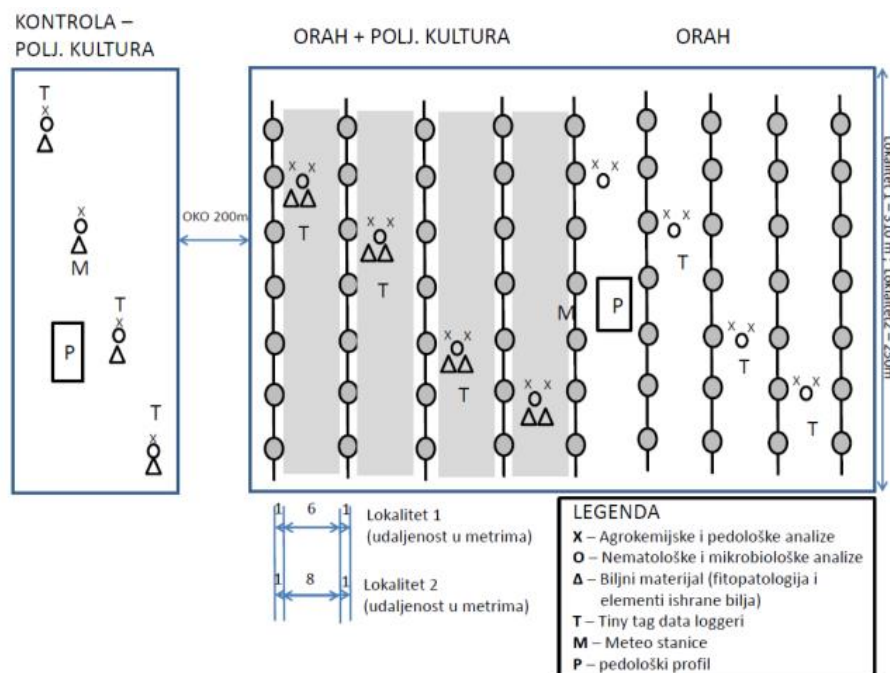
veliĉine otprilike 1 ha, te voćnjak, koji je zauzimao preostalih 3,35 ha. Kontrolna parcela i voćnjak nalazili su se na tlima istog tipa, što je omogućilo bolju komparativnu analizu podataka. Nasad oraha u Ivankovu sastojao se od 14 redova, pri ĉemu je svaki red bio dug 250 metara. Razmak izmeĊu redova iznosio je 10 metara, dok je razmak unutar redova takoder bio 10 metara.

2.3. Uzorkovanje tla i analize

Tijekom istraŹivanja, uzorkovanje tla provodilo se periodiĉno, u razliĉitim 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 odreĊivanja poĉetnog stanja agrokemijskih svojstava tla na oba lokaliteta.

Pri svakom uzorkovanju tla uzimana su ĉetiri ponavljanja iz svake eksperimentalne jedinice (prikazano na slici 1):

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



Slika 1. Prikaz lokacija pokusa i uzorkovanja za odreĊene analize

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 humusa i organskog ugljika – HRN ISO 14235:1998 (metoda prema Weil i sur., 2003.),

Humus 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 humusa u tlu određena je prema bikromatnoj metodi (ISO 14235, 1994), 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 humusa pomoću konverzijskog koeficijenta 1,724.

- Hidrolitička kiselost – metoda prema Kappenu (JDPZ, 1966.),

Hidrolitička kiselost određena je u svim analiziranim uzorcima tla kod kojih vrijednosti supstitucijske kiselosti (pH u 1 M KCl) nisu prelazile 5,5. Kao pokazatelj ukupne potencijalne kiselosti tla, hidrolitička kiselost određena je ekstrakcijom 20 g tla s 50 ml 1 M 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 M 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 P_2O_5 i K_2O – metoda prema Egneru i sur. (1960.),

Lakopristupačni fosfor i kalij u tlu određeni su Egner-Riehm-Domingo (AL) metodom (Egner et al., 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 odpipetirano je 10 ml u mjernu tikvicu od 100 ml, kojoj je zatim dodano 9 ml sumporne kiseline koncentracije 4 mol dm^{-3} (213,2 ml koncentrirane H_2SO_4 na 1000 ml otopine). Tikvica je potom dopunjena destiliranom vodom do polovice volumena. Nakon zagrijavanja na vodenoj kupelji, u tikvicu je dodano 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 nastavila grijati još 30 minuta kako bi se razvila plava boja kompleksa. Isti postupak primijenjen je i na seriju standardnih otopina, u kojima je umjesto filtrata dodano po 10 ml pojedinog radnog standarda. Tako pripremljeni standardi odgovarali su koncentracijama od 100, 200, 300, 400, 500 i 800 mg P_2O_5 po kilogramu tla. Nakon hlađenja, svi uzorci i standardi dopunjeni su destiliranom vodom do oznake na tikvici. Koncentracija fosfora u uzorcima i standardima određena je 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 su izraženi u mg P_2O_5 po kilogramu tla.

- Sadržaj karbonata – HRN ISO 10693:2014,

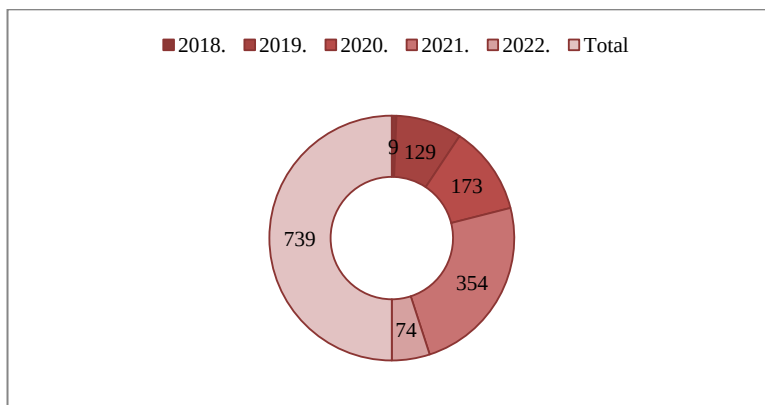
Sadržaj karbonata u tlu određen je volumetrijskom metodom prema normi ISO 10693 (1995), koja se temelji na mjerenju volumena ugljikova dioksida (CO_2) oslobođenog reakcijom karbonata iz tla s 10 %-tnom otopinom klorovodične kiseline (HCl).

- Sadržaj amonijačnog dušika – HRN EN ISO 11732:2008,
- Sadržaj nitratnog dušika – HRN EN ISO 13395:1998.

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.

Kako je prikazano na Grafu 2, a sukladno ciljevima istraživanja, prikupljeni uzorci tla su podijeljeni u tri kategorije na temelju sadržaja organske tvari:

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.



Graf 2. 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),

Pb = 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:

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

gdje je:

SU = sekvestracija ugljika,

SU_xgod = stanje ugljika u promatranjoj (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.

2.5. Dodatne analize organskog ugljika u tlu

Sadržaj organskog ugljika u tlu određivan je prema metodi propisanoj ISO standardom (HRN ISO 14235:1998), kao i metodom KMnO₄ prema Weil i sur. (2003.), čime je osigurana preciznost u procjeni organske tvari tla.

2.6. Usporedba dvaju analiza određivanja sadržaja humusa u tlu

Uspoređene su dvije često korištene metode analize organske tvari u tlu – dikromatna metoda i C/N metoda – kako bi se procijenila njihova učinkovitost i usporedili dobiveni rezultati. Ova usporedba 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 humusa u tlu.

Za određivanje sadržaja organske tvari u tlu korištena je C/N metoda. Od ukupno 739 prikupljenih uzoraka, za daljnje kemijske analize odabran je reprezentativni podskup od 150 uzoraka, pri čemu je primijenjena dikromatna metoda za određivanje organske tvari.

Odabrani uzorci svrstani su u tri kategorije, prikazano na Grafu 3, prema udjelu organske tvari:

1. Uzorci s manje od 2% organske tvari

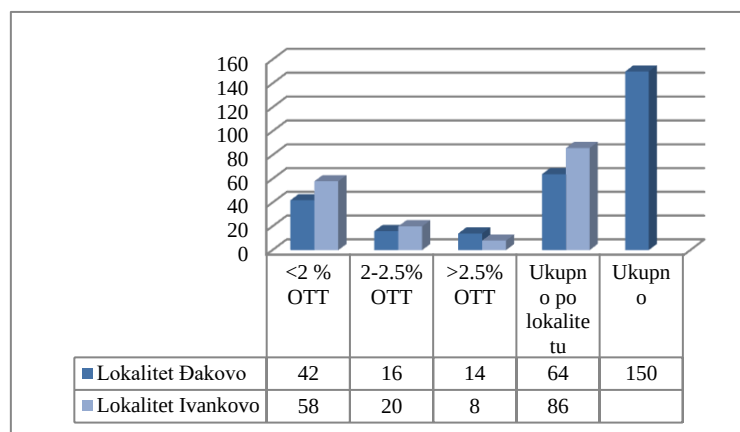
Odabrano je 100 uzoraka: 42 s lokacije Đakovo i 58 s lokacije Ivankovo.

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.



Graf 3. 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 omogućuje precizniju procjenu varijabilnosti sadržaja organske tvari u tlu te bolju interpretaciju rezultata kemijskih analiza.

2.7. Fizikalna svojstva tla

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.

Ovim istraživanjem dobiveni su ključni uvidi u dinamiku sekvestracije ugljika u tlu te utjecaj različitih sustava uzgoja na promjene u organskoj tvari tla, čime su postavljeni temelji za daljnja istraživanja i unaprjeđenje ekološki održivih poljoprivrednih praksi.

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 humusa, 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 odlikuju se raznolikošću 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 humusa, fosfora i kalija) i fizikalnih značajki tla (poput teksture, strukture, 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 prema Hrvatskoj Agenciji za Poljoprivredu i Hranu (HAPIH) (2020.)

Kategorija tla	pH	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	≤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	≥ 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
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 opće karakteristike tla na ispitanom lokalitetu u Đakovu.

3.1.1.1. pH reakcija tla 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	Prosjek
pH (KCl)	Đakovo	5,09
pH (H₂O)	Đakovo	6,25

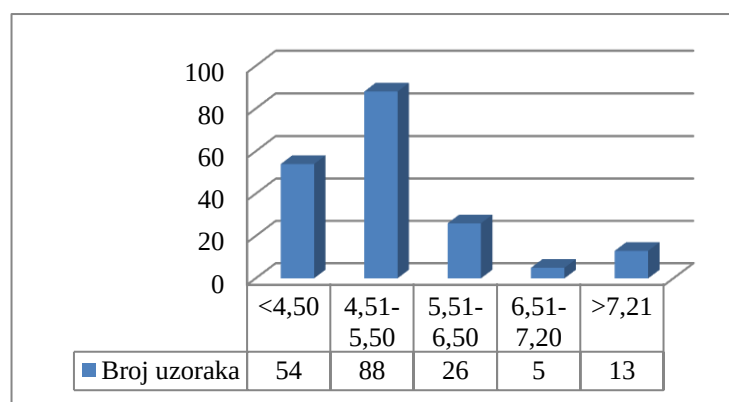
Prikupljeni uzorci tla tijekom istraživanja klasificirani su u pet kategorija temeljenih na pH vrijednostima, prikazano u Tablici 6. Raspodjela uzoraka tla prema kiselosti pokazuje jasnu dominaciju kiselih reakcija tla. Kategorija B, koja obuhvaća tla s pH vrijednostima između 4,51 i 5,50, sadrži najveći broj uzoraka – ukupno 88. Ova kategorija predstavlja tla s kiselom reakcijom i čini gotovo polovicu svih analiziranih uzoraka. Slijedi kategorija A s 54 uzorka, koja obuhvaća tla izrazito niske pH vrijednosti (<4,50). Kombinirano, kategorije A i B sadrže čak 142 uzoraka, što ukazuje na prevladavanje kiselih tla u analiziranom uzorku.

Kategorija C, koja se odnosi na slabo kisela tla s pH vrijednostima između 5,51 i 6,50, ima 26 uzoraka. Iako ova tla imaju manje izraženu kiselost, još uvijek nisu neutralna. Neutralna tla, koja su svrstana u kategoriju D (pH 6,51–7,20), zastupljena su s tek 5 uzoraka. U kategoriji E, koja obuhvaća tla alkalne reakcije s pH većim od 7,21, nalazi se 13 uzoraka.

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

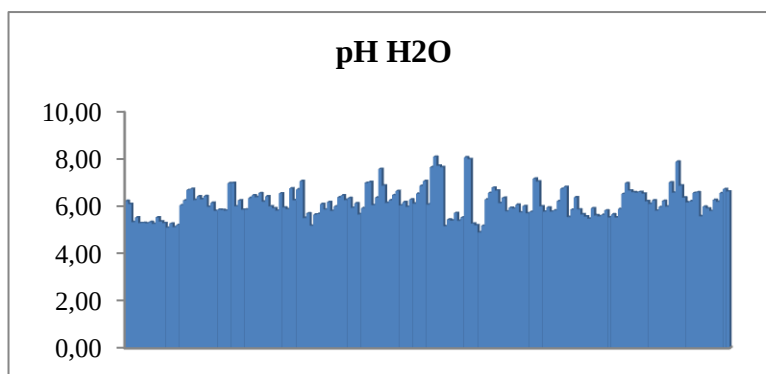
Kategorija tla	pH	Reakcija tla	Broj uzoraka
A	<4,50	Jako kisela reakcija	54
B	4,51-5,50	Kisela reakcija	88
C	5,51-6,50	Slabo kisela reakcija	26
D	6,51-7,20	Neutralna reakcija	5
E	>7,21	Alkalna reakcija	13

Na Grafu 4 prikazano je svrstavanje analiziranih uzoraka u kategorije prema kiselosti tla.



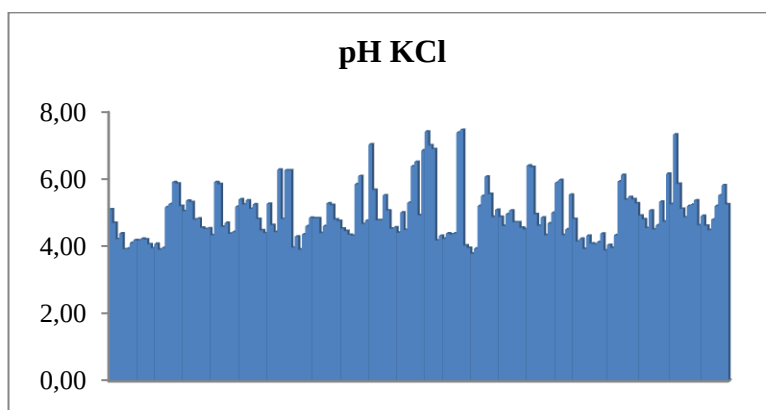
Graf 4. Prikaz broja uzoraka svrstanih u različite kategorije kiselosti tla na lokalitetu Đakovo

Prema rezultatima kemijskih analiza prikazanim na Grafu 5, pH vrijednosti tla određene u vodenoj otopini (pH H₂O) pokazuju raspon od približno 5,0 do 8,5. Najveći broj uzoraka ima pH vrijednosti između 5,5 i 7,0, što ukazuje na prevladavanje kiselih do neutralnih reakcija tla. Vidljiv je postupni porast pH vrijednosti bez izraženih ekstremnih skokova, što sugerira relativno ujednačene kemijske karakteristike ispitivanih tala



Graf 5. Sveukupan prikaz pH H₂O na lokalitetu Đakovo

Kod određivanja pH vrijednosti u otopini kalijeva klorida (pH KCl) također je primijećen sličan trend, s nešto nižim pH vrijednostima u usporedbi s pH H₂O, što je očekivano zbog jačeg ionskog učinka KCl otopine na zamjensku kiselost tla. Raspon pH KCl vrijednosti kreće se od približno 4,0 do 7,5, a većina uzoraka pokazuje koncentraciju vrijednosti između 4,5 i 6,0. Veće oscilacije pH vrijednosti unutar pojedinih uzoraka upućuju na veću heterogenost reakcije tla u otopini KCl. Rezultati određivanja pH vrijednosti u otopini kalijeva klorida (pH KCl) prikazani su na Grafu 6.



Graf 6. Sveukupan prikaz pH KCl na lokalitetu Đakovo

3.1.1.2. Sadržaj humusa u tlu na lokalitetu Đakovo

U Tablici 7 prikazane su prosječne vrijednosti sadržaja humusa 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.

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

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

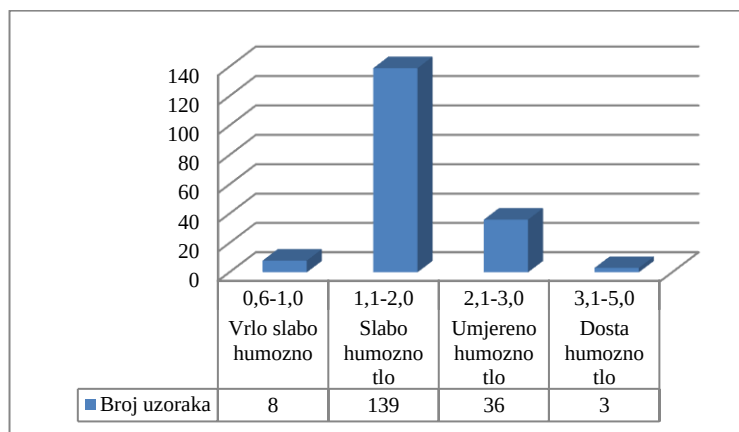
Prikazana Tablica 8 i Graf 7 prikazuju broj uzoraka tla svrstane prema razinama humoznosti, pri čemu je ukupno analizirano 186 uzoraka. Raspodjela uzoraka tla prema sadržaju humusa pokazuje izrazitu dominaciju slabo humoznih tala. Najveći broj uzoraka, njih 139, pripada kategoriji s udjelom humusa između 1,1% i 2,0%, što ukazuje na prevladavanje tla s niskom organskom tvari. Slijedi kategorija umjereno humoznih tala (2,1–3,0%), u koju spada 36 uzoraka. Vrlo slabo humozna tla, s udjelom humusa između 0,6% i 1,0%, zastupljena su s 8

uzoraka, dok je dosta humozno tlo (3,1–5,0%) prisutno u samo 3 uzorka.

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

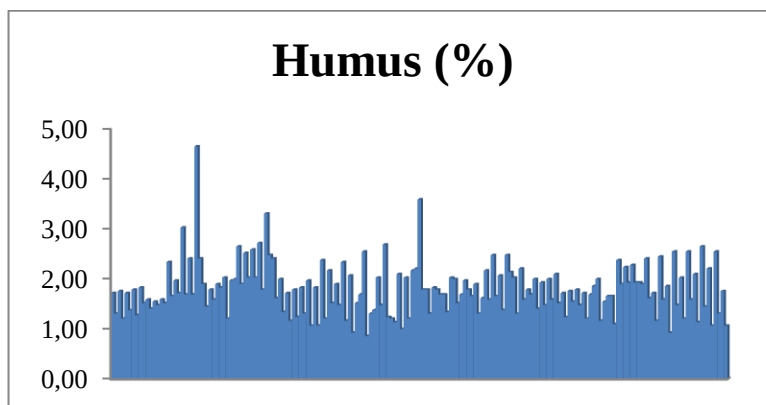
Opis	Vrijednost za humus %	Broj uzoraka
Vrlo slabo humozno	0,6-1,0	8
Slabo humozno tlo	1,1-2,0	139
Umjereno humozno tlo	2,1-3,0	36
Dosta humozno tlo	3,1-5,0	3

Ova raspodjela jasno pokazuje da većina uzoraka ima nizak do umjeren sadržaj humusa, što je i grafički prikazano na Grafu 7.



Graf 7. Prikaz broja uzoraka svrstanih u različite kategorije humoznosti tla na lokalitetu Đakovo

Graf 8 prikazuje rezultate mjerenja postotka humusa u tlu na lokalitetu Đakovo. Podaci pokrivaju širok raspon vrijednosti, od 0,86% do 4,65%, s većinom mjerenja koja se kreću između 1% i 2,5%. Ovaj raspon ukazuje na varijabilnost sadržaja humusa u tlu, što može biti rezultat različitih faktora poput tipa tla, dubine uzorkovanja, okolišnih uvjeta i tipa poljoprivredne proizvodnje. Najčešće vrijednosti humusa su 1,66%, 1,79%, 1,72% i 1,59%, što sugerira stabilan sadržaj humusa u većini uzoraka. Povišene vrijednosti poput 3,03% i 4,65% pojavljuju se rjeđe i mogu ukazivati na specifične uvjete tla u određenim lokacijama. Ovi podaci pružaju važne informacije za analizu plodnosti tla.



Graf 8. Sveukupan prikaz sadržaja humusa (%) na lokalitetu Đakovo

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 iznosi 9,19 mg P_2O_5 /100 g tla. Dobivene vrijednosti omogućuju uvid u prosječnu opskrbljenost tla fosforom na ovom području, pri čemu navedena koncentracija ukazuje na umjerenu do slabu opskrbljenost, što može negativno utjecati na rast i razvoj biljaka, osobito u fazama formiranja korijena i generativnog razvoja.

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 (P_2O_5) pokazuje jasne razlike ovisno o pH vrijednosti tla, što je i prikazano u Tablici 10. Prikazani rezultati su izraženi kao P_2O_5 u mg/100 g tla), uz razlikovanje tla s pH vrijednošću manjom i većom od 6. Kod kiselijih tala ($pH < 6$), većina uzoraka (97) pripada klasi vrlo slabo opskrbljenih fosforom ($< 8,0$ mg/100 g), dok ih je 53 slabo opskrbljeno (8,1–16,0 mg/100 g). Samo manji broj uzoraka iz kisele skupine pokazuje dobru (5), bogatu (3) ili vrlo bogatu (0) opskrbljenost.

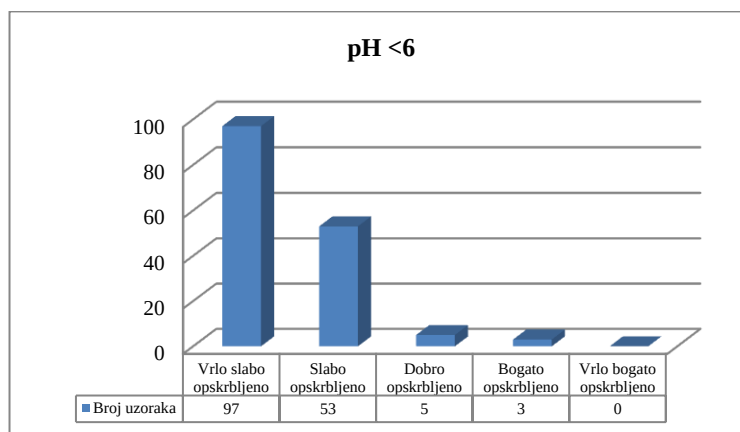
S druge strane, kod tla s $pH > 6$, uzorci su općenito ravnomjernije raspoređeni: 9 uzoraka je vrlo slabo opskrbljeno, 6 slabo, 7 dobro, 3 bogato, a 3 uzorka vrlo bogato opskrbljena fosforom. Ova distribucija pokazuje da tla višeg pH-a općenito imaju bolju opskrbljenost fosforom, što je posljedica veće dostupnosti ovog elementa u neutralnim i blago alkalnim uvjetima. Kiselost tla značajno utječe na mobilnost i pristupačnost fosfora biljkama, što

objašnjava slabiju opskrbljenost fosforom u većini uzoraka s $\text{pH} < 6$.

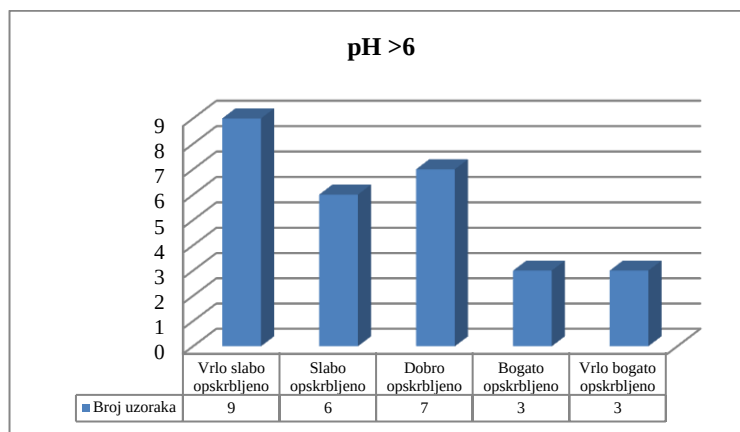
Tablica 10. Prikaz zastupljenosti uzoraka tla prema klasifikaciji sadržaja fosfora u tlu, na lokalitetu Đakovo

Fosfor P_2O_5 100 g^{-1}				
Klasa opskrbljenosti	$\text{pH} < 6$	Broj uzoraka	$\text{pH} > 6$	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

Graf 9 i Graf 10 prikazuje rezultate mjerenja sadržaja fosfora i raspodjelu uzoraka u kategorije na lokalitetu Đakovo.

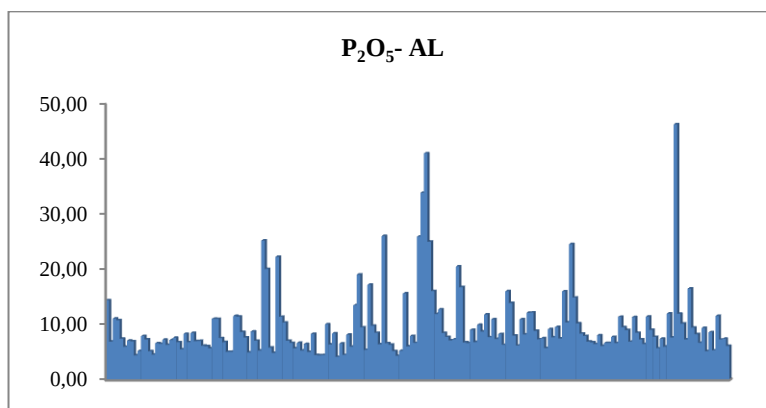


Graf 9. Prikaz broja uzoraka svrstanih u različite kategorije opskrbljenosti tla fosforom pri pH vrijednosti tla nižoj od 6, na lokalitetu Đakovo.



Graf 10. Prikaz broja uzoraka svrstanih u različite kategorije opskrbljenosti tla fosforom pri pH vrijednosti tla višoj od 6, na lokalitetu Đakovo

Na prvom grafu (Graf 9), koji prikazuje uzorke tla s pH vrijednostima manjima od 6, najupečatljivije je izražena kategorija vrlo slabo opskrbljenih fosforom, s čak 97 uzoraka, dok slabo opskrbljenih ima 53. U višim klasama opskrbljenosti (dobro, bogato i vrlo bogato), broj uzoraka je znatno manji — redom 5, 3 i 0 — što ukazuje na općenito nizak sadržaj fosfora u kiselim tlima. Nasuprot tome, Graf 10, koji prikazuje tla s pH vrijednostima većim od 6, pokazuje znatno ravnomjerniju raspodjelu uzoraka među svim klasama opskrbljenosti. Najveći broj uzoraka nalazi se u kategorijama vrlo slabo (9), dobro (7) i slabo opskrbljeno (6), dok kategorije bogato i vrlo bogato opskrbljenih sadrže po 3 uzorka. Ova raspodjela sugerira da je dostupnost fosfora veća u tlima neutralne i blago alkalne reakcije, jer se fosfor u kiselim uvjetima veže u oblike koji su teško pristupačni biljkama. Zaključno, usporedba grafova jasno pokazuje da viši pH tla pogoduje boljoj opskrbljenosti fosforom. Graf 11 prikazuje ukupne rezultate mjerenja sadržaja fosfora u tlu na lokalitetu Đakovo.



Graf 11. Sveukupan prikaz sadržaja fosfora na lokalitetu Đakovo

Iz Grafa 11 je vidljivo da većina uzoraka ima vrijednosti fosfora ispod 15 mg/100 g tla, što ukazuje na slabu do umjerenu opskrbljenost tla ovim hranjivim elementom. Međutim, primjećuju se i pojedinačni uzorci s izrazito višim vrijednostima, koji prelaze 30 pa čak i 45 mg/100 g, što ukazuje na lokalne varijacije u plodnosti. Općenito, graf sugerira da većina tala ima ograničenu dostupnost fosfora, što bi moglo utjecati na rast i razvoj biljaka te zahtijeva ciljanu primjenu fosfornih gnojiva u svrhu poboljšanja opskrbljenosti.

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 iznosi 15,72 mg K₂O/100 g 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
Kalij	Đakovo	15,72

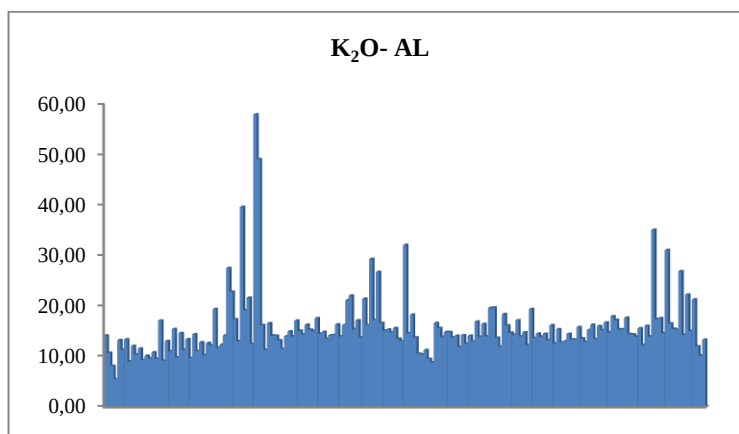
Tablica 12 prikazuje zastupljenost uzoraka tla prema klasifikaciji sadržaja kalija u tlu na lokalitetu Đakovo, usmjerenog na tla srednje teške teksture.

U ovoj tablici, "vrlo slabo opskrbljeno" (<8,0) označava tlo s izuzetno niskim sadržajem kalija, a samo jedan uzorak spada u ovu klasu, što ukazuje na vrlo mali postotak tla s tako niskom koncentracijom kalija. "Slabo opskrbljeno" (8,1-14,0) označava tlo s niskim sadržajem kalija, a u ovu klasu spada 76 uzoraka, što znači da je najveći broj uzoraka tla na ovom lokalitetu slabije opskrbljen kalijem. "Dobro opskrbljeno" (14,1-28,0) označava tlo s umjerenim sadržajem kalija, a 102 uzorka spadaju u ovu kategoriju, što znači da većina tla na lokalitetu Đakovo ima dobar sadržaj kalija. "Bogato opskrbljeno" (28,1-40,0) označava tlo s višim sadržajem kalija, no samo pet uzoraka spada u ovu klasu, što ukazuje da bogato opskrbljena tla čine manji postotak ukupnih uzoraka. "Vrlo bogato opskrbljeno" (>40) označava tlo s vrlo visokim sadržajem kalija, a samo dva uzorka spadaju u ovu kategoriju, što znači da vrlo bogata tla čine minimalan postotak uzoraka. Većina uzoraka tla s lokaliteta Đakovo ima umjeren sadržaj kalija, s najvećim brojem uzoraka u klasi "dobro opskrbljeno", dok je manji broj uzoraka 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

Graf 12 prikazuje sveukupni sadržaj kalija (K_2O) na lokalitetu Đakovo, s oznakom " K_2O -AL". Na grafu možemo vidjeti visoke i niske vrhove, što sugerira varijaciju u sadržaju kalija među različitim uzorcima tla. Neki uzorci imaju vrlo visok sadržaj kalija (koji doseže više od 50), dok je većina uzoraka koncentrirana u nižem rasponu (oko 10-20), što ukazuje na to da većina tla na ovom lokalitetu ima umjeren sadržaj kalija. Ovi podaci mogu biti korisni za razumijevanje raspodjele kalija u tlu, što je važno za procjenu plodnosti tla i mogućih potreba za gnojidbom.



Graf 12. Sveukupan prikaz sadržaja kalija na lokalitetu Đakovo

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 s ciljem dobivanja uvida u njegov sastav, strukturu i plodnost. Ispitivanja su provedena prema standardnim pedološkim metodama, a obuhvaćala su parametre poput pH vrijednosti tla, sadržaja humusa te koncentracije hranjivih tvari.

3.1.2.1. pH reakcija tla na lokalitetu Ivankovo

Tablica 13 prikazuje prosječne vrijednosti pH tla na lokalitetu Ivankovo, izmjerene u dvije različite otopine – vodi (H_2O) i kalij-kloridu (KCl). Prosječni pH u vodi iznosi 6,58, što ukazuje na blago kiselu do neutralnu reakciju, dok je pH u KCl otopini niži i iznosi 5,40, što je tipično zbog načina mjerenja.

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

Agrokemijsko svojstvo	Lokalitet	Prosjeak
pH H_2O	Ivankovo	6,58
pH KCl	Ivankovo	5,40

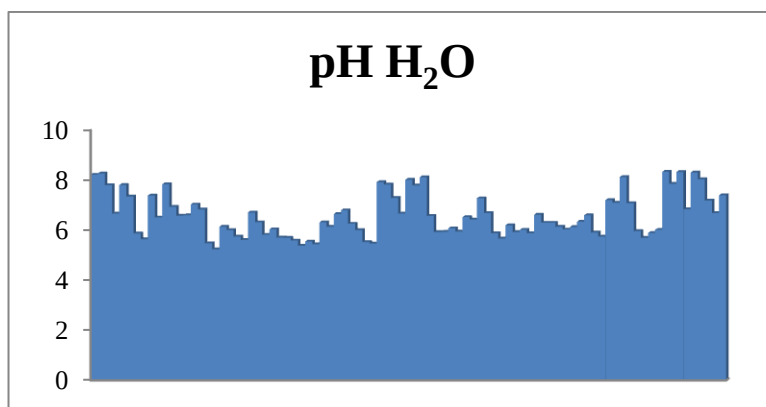
Tablica 14 prikazuje raspodjelu uzoraka tla s lokaliteta Ivankovo prema pH vrijednosti i pripadajućoj reakciji tla. Najveći broj uzoraka spada u kategorije jako kisela (23) i kisela reakcija tla (30), što ukazuje na prevladavajuću kiselost u analiziranim tlima. Manji broj uzoraka ima slabo kiselu (20) i neutralnu (8) reakciju, dok se alkalna reakcija javlja u samo 8 uzoraka. Ova raspodjela pokazuje da većina tla na ovom području ima pH vrijednosti ispod 6,5, što može utjecati na dostupnost hranjivih tvari i zahtijevati primjenu mjera za poboljšanje reakcije tla, poput kalcizacije.

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

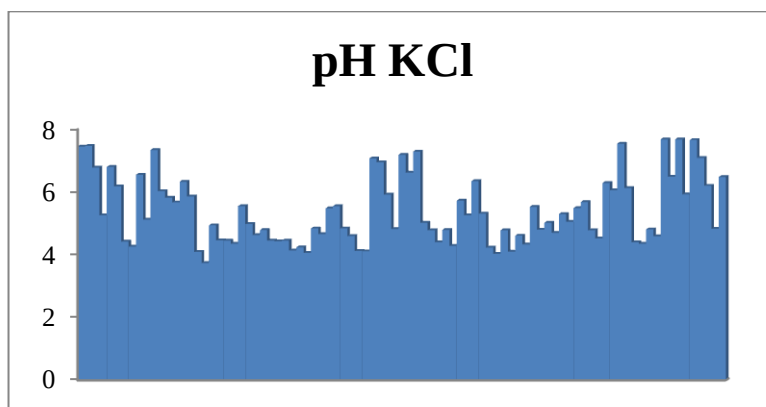
Kategorija tla	pH	Reakcija tla	Broj uzoraka
A	<4,50	Jako kisela reakcija	23
B	4,51-5,50	Kisela reakcija	30
C	5,51-6,50	Slabo kisela reakcija	20
D	6,51-7,20	Neutralna reakcija	8
E	>7,21	Alkalna reakcija	8

Na grafu 13 i 14 prikazane su vrijednosti svih analiziranih uzoraka i njihove pH vrijednosti. U usporedbi dva seta podataka, pH H_2O i pH KCl, može se primijetiti nekoliko ključnih razlika. Za svaki uzorak, pH H_2O je uvijek veći od pH KCl, što je uobičajeno jer pH H_2O mjeri aktivnu kiselost tla u vodenoj otopini, dok pH KCl mjeri potencijalnu kiselost tla, otkrivajući dodatne kiseline koje KCl može istisnuti s površine čestica tla. Pored toga, razlika između pH H_2O i pH KCl je konstantna, a u prosjeku se kreće između 1 i 1,2 jedinice. To znači da pH H_2O pokazuje nešto viši stupanj kiselosti od pH KCl. Za većinu uzoraka pH H_2O je u rasponu

od 5,24 do 8,34, dok pH KCl varira od 3,74 do 7,68.



Graf 13. Sveukupan prikaz pH H₂O na lokalitetu Ivakovo



Graf 14. Sveukupan prikaz pH KCl na lokalitetu Ivankovo

3.1.2.2. Sadržaj humusa u tlu na lokalitetu Ivankovo

Tablica 15 prikazuje prosječan sadržaj humusa u tlu na lokalitetu Ivankovo, koji iznosi 1,77%. Ova vrijednost smješta tlo u kategoriju slabo humoznih tla, što znači da tlo sadrži relativno malu količinu organskog materijala.

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

Agrokemijsko svojstvo	Lokalitet	Prosjeak
Humus (%)	Ivankovo	1,77

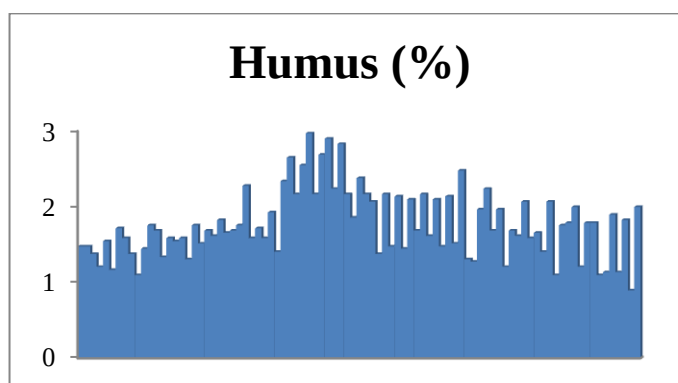
Tablica 16 prikazuje raspodjelu uzoraka tla prema kategorijama sadržaja humusa. Samo jedan uzorak pripada kategoriji vrlo slabo humoznog tla (0,6–1,0%), što ukazuje na izuzetno nizak udio organske tvari. Najveći broj uzoraka, njih 66, svrstava se u kategoriju slabo humoznog

tla (1,1–2,0%), što znači da većina tla na ispitivanom području ima relativno nizak sadržaj humusa. Umjereno humozno tlo (2,1–3,0%) obuhvaća 22 uzorka, što pokazuje prisutnost tla s nešto boljim agrokemijskim svojstvima. U kategoriju dosta humoznog tla (3,1–5,0%) nije svrstano nijedno tlo, što ukazuje da na ovom području nema tla s visokim udjelom humusa. Ovi podaci važni su za procjenu plodnosti tla i planiranje mjera za njegovo poboljšanje, poput dodatka organske tvari ili pravilne gnojidbe.

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

Na Grafu 15 grafički su prikazani sadržaji humusa u tlu, u svim uzorcima, pri čemu se udjeli humusa kreću u rasponu od najnižih 0,9% do najviših 2,97%. Na temelju raspodjele prikupljenih podataka može se zaključiti da se većina uzoraka koncentrira unutar intervala od 1,1% do 2,0% humusa, što ukazuje na to da tlo u tom području pripada skupini slabo humoznih tala. Posebno se ističe izražena koncentracija vrijednosti između 1,5% i 1,7%, unutar koje se nalazi najveći broj uzoraka.



Graf 15. Sveukupan prikaz sadržaja humusa (%) na lokalitetu Ivankovo

3.1.2.3. Sadržaj fosfora u tlu na lokalitetu Ivankovo

Tablica 17 prikazuje sadržaj fosfora, za lokalitet Ivankovo. Prema prikazanim podacima, prosječna vrijednost fosfora u tlu na ovom području iznosi 14,71 mg/100 g tla. Ova vrijednost ukazuje na slabu do dobru opskrbljenost fosforom, ovisno o pH vrijednosti tla.

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

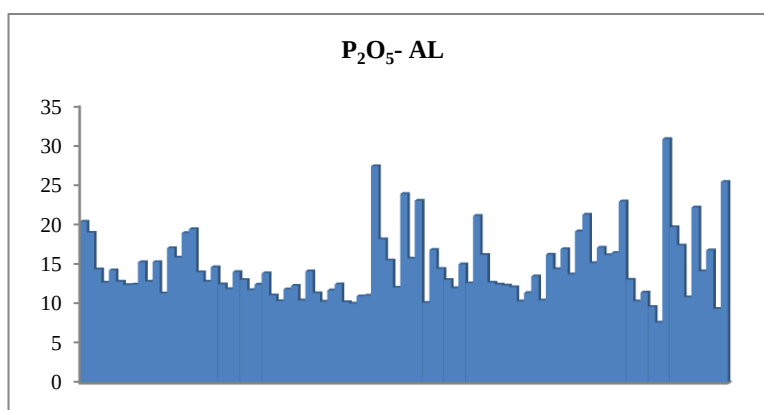
Agrokemijsko svojstvo	Lokalitet	Prosjek
Fosfor	Ivankovo	14,71

Tablica 18 prikazuje klasifikaciju opskrbljenosti tla fosforom, izraženim kao P_2O_5 u miligramima na 100 grama tla, 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 fosforom. U kategoriji kiselih tala, samo je jedan uzorak klasificiran kao vrlo slabo opskrbljen fosforom, dok čak 53 uzorka pripadaju klasi slabo opskrbljenih (8,1–16,0 mg $P_2O_5/100$ g), što čini veliku većinu. Devet uzoraka je dobro opskrbljeno (16,1–25,0 mg), dok nijedan uzorak ne ulazi u kategoriju bogato ili vrlo bogato opskrbljenih, što ukazuje na ograničen sadržaj fosfora u kiselim tlima. S druge strane, tla s pH vrijednostima višim od 6 pokazuju znatno povoljniju sliku. Nema uzoraka koji bi se svrstali u klasu vrlo slabo opskrbljenih (<5,0 mg), a samo jedan uzorak je slabo opskrbljen (5,1–12,0 mg). Najveći broj uzoraka, njih 16, klasificiran je kao dobro opskrbljeno (12,1–20,0 mg), dok ih je 8 u klasi bogato opskrbljenih (20,1–30,0 mg), a jedan uzorak čak i u klasi vrlo bogato opskrbljenih (>30 mg). Ovi rezultati jasno pokazuju da tla s višim pH vrijednostima imaju znatno bolju opskrbljenost fosforom u usporedbi s kiselim tlima.

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

Fosfor P_2O_5 100 g ⁻¹				
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

Na temelju analize sadržaja fosfora u tlu, prikazano na Grafu 16, može se uočiti kako sadržaj fosfora u uzorcima varira od najnižih 7,69 mg/100 g do najviših 30,87 mg/100 g, što ukazuje na širok raspon opskrbljenosti tla fosforom. Većina uzoraka koncentrirana je u rasponu između 10 i 17 mg/100 g,. Značajan broj uzoraka nalazi se upravo u tom srednjem rasponu, što sugerira da je umjerena dostupnost fosfora najčešća pojava u analiziranom tlu. Međutim, prisutni su i uzorci koji prelaze vrijednosti od 20 mg/100 g, pa čak i 25 mg/100



Graf 16. Sveukupan prikaz sadržaja fosfora na lokalitetu Ivankovo

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 Đakovo. Prosječna koncentracija iznosi 19,91 mg K₂O/100 g 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
Kalij	Ivankovo	19,91

Tablica 20 prikazuje zastupljenost uzoraka tla na lokalitetu Ivankovo prema klasifikaciji sadržaja kalija u tlu. Većina uzoraka (80) spada u kategoriju "dobro opskrbljeno" (14,1–28,0), što znači da tla na ovom području uglavnom imaju zadovoljavajuću količinu kalija, važnog za rast i razvoj biljaka. U klasu "slabo opskrbljeno" (8,1–14,0) spadaju samo 4 uzorka, što ukazuje da je mali broj tala s nižim sadržajem kalija.

Bogato opskrbljeno tlo (28,1–40,0) zastupljeno je s 5 uzoraka, što pokazuje da su tla s povišenim sadržajem kalija rijetka. U klasama "vrlo slabo opskrbljeno" (<8,0) i "vrlo bogato opskrbljeno" (>40) nije zabilježen nijedan uzorak, što znači da ekstremno niske i ekstremno

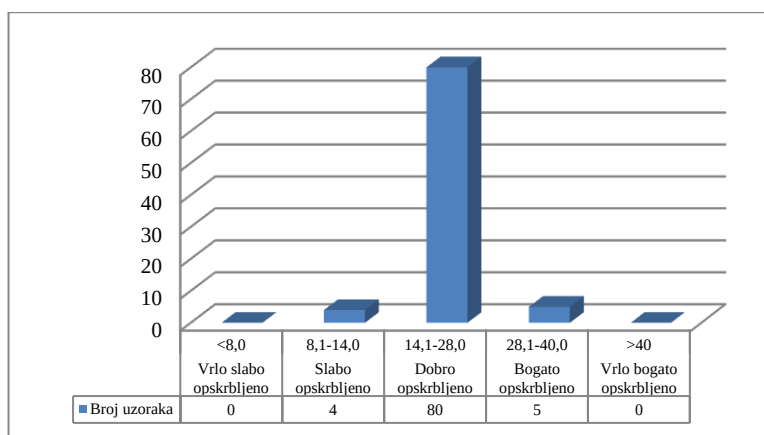
visoke vrijednosti kalija nisu prisutne. Zaključno, tlo na lokalitetu Ivankovo pokazuje relativno ujednačenu i stabilnu opskrbljenost kalijem, većinom u rasponu koji se smatra optimalnim za poljoprivrednu proizvodnju.

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

Graf 17 prikazuje zastupljenost uzoraka tla prema klasifikaciji sadržaja kalija na lokalitetu Ivankovo, odnosno koliko uzoraka tla spada u pojedine kategorije opskrbljenosti kalijem. Vizualno su prikazane pet klasa: vrlo slabo opskrbljeno, slabo opskrbljeno, dobro opskrbljeno, bogato opskrbljeno i vrlo bogato opskrbljeno. Najveći broj uzoraka, njih 80, spada u klasu dobro opskrbljeno (14,1–28,0), što pokazuje da je većina tla na ovom lokalitetu optimalno snabdjevena kalijem, pogodna za uzgoj većine biljnih kultura.

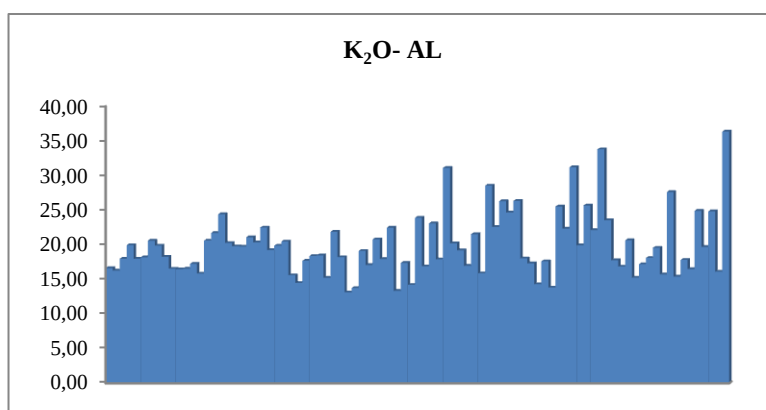
Slabo opskrbljenih uzoraka (8,1–14,0) ima samo 4, što ukazuje na rijetku pojavu tla s nižim sadržajem kalija. Bogato opskrbljenih uzoraka (28,1–40,0) je 5, dok vrlo slabo (<8,0) i vrlo bogato opskrbljenih uzoraka (>40) nema, što znači da ekstremne vrijednosti nisu prisutne u analiziranom uzorku.



Graf 17. Prikaz zastupljenosti uzoraka tla prema klasifikaciji sadržaja kalija u tlu na lokalitetu Ivankovo

Graf 18 prikazuje sveukupan sadržaj kalija (K_2O-AL) u tlu na lokalitetu Ivankovo kroz niz uzoraka. Vizualno se može uočiti da većina vrijednosti varira u rasponu između približno 14 i 28, što potvrđuje rezultate iz Tablice 19, gdje je najveći broj uzoraka klasificiran kao "dobro

opskrbljeno" tlo. Na grafu nema izrazitih vrhova koji bi upućivali na ekstremno visoke ili niske koncentracije kalija, što znači da su vrijednosti relativno ujednačene, bez velikih odstupanja. Također, ne postoje uzorci ispod 8 ili iznad 40, što se podudara s činjenicom da u klasama "vrlo slabo" i "vrlo bogato opskrbljeno" nije bilo uzoraka. Graf potvrđuje da tlo na lokalitetu Ivankovo ima stabilan i povoljan sadržaj kalija, s vrlo malom varijabilnošću među uzorcima.



Graf 18. Sveukupan prikaz sadržaja kalija na lokalitetu Ivankovo

3.2. Prikaz fizikalnih svojstava tla na lokalitetu Đakovo i Ivankovo

Na lokalitetu Đakovo i Ivankovo rađene su analize za određivanje slojevitosti tla, udjelima pijeska i gline, količini organske tvari te propusnosti, koji predstavljaju ključne čimbenike u određivanju kvalitete tla i njegovoj prilagodbi različitim biljnim kulturama.

3.2.1. Prikaz fizikalnih svojstava tla na lokalitetu Đakovo

Tlo na lokalitetu Đakovo opisano je kroz tri dubinska horizonta: P (0–37 cm), Btg (37–60 cm) i BtgC (60–125 cm). Površinski horizont (P) karakterizira pepeljasto siva boja, praškasta ilovača kao tekstura te sitno mrvičasta struktura. 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, smeđe je 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 prisutni. Najdublji analizirani sloj, horizont BtgC, sivo smeđe je boje, s teksturom praškaste ilovače i sitno mrvičastom strukturom. U ovom sloju primjećuje se pojava kalcijevog karbonata, što može ukazivati na povećanje lužnatosti tla u dubljim slojevima. Ukupno gledano, tlo na ovom lokalitetu pripada srednje teškoj teksturi, što znači da sadrži uravnotežen omjer pijeska, ilovače i gline, omogućujući dobru

prozračnost i sposobnost zadržavanja vode. S obzirom na navedena svojstva, tlo je pogodno za većinu poljoprivrednih kultura.

Tablica 21 prikazuje fizikalna svojstva tla na lokalitetu Đakovo prema različitim slojevima tla. Sloj 1, koji se prostire od 0 do 37 mm dubine, ima debljinu od 0,37 metara i sastoji se od 2,95% pijeska, 25,90% gline i 1,79% organske tvari. Ovaj sloj ima vrlo visoku propusnost vode od 97 mm/j, što znači da je tlo vrlo propusno. Sloj 2, smješten između 37 i 60 mm dubine, ima debljinu od 0,23 metara. Ovaj sloj ima 2,72% pijeska, 28,07% gline i manji udio organske tvari (0,62%), a propusnost vode u njemu iznosi 35 mm/j, što ukazuje na nižu propusnost u odnosu na prvi sloj. Sloj 3, koji se proteže od 60 do 125 mm dubine, ima debljinu od 0,65 metara i sadrži 2,57% pijeska, 27,72% gline i 1,24% organske tvari. Propusnost ovog sloja je 60 mm/j, što je srednja vrijednost u odnosu na prethodna dva sloja. Svi slojevi tla na ovom lokalitetu nemaju kamenje ni vapnenac, a udio organske tvari nije visoka, posebno u drugom sloju.

Tablica 21. Prikaz fizikalnih svojstava tla na lokalitetu Đakovo

Sloj	Dubina	Debljina	Pijesak	Glina	Kamenje	CaCO ₃	Organska tvar	Tip kamena	Propusnost
	(mm)	(m)	%	%	% Vol.	%	%	1-10	mm j-1
Sloj 1	0-37	0,37	2,95	25,90	0	0	1,79	0	97
Sloj 2	37-60	0,23	2,72	28,07	0	0	0,62	0	35
Sloj 3	60-125	0,65	2,57	27,72	0	1,24	0,55	0	60

3.2.2. Prikaz fizikalnih svojstava tla na lokalitetu Ivankovo

Na lokalitetu Ivankovo istraženo je tlo do dubine od 140 cm, pri čemu su utvrđena četiri genetska horizonta: IP, IIP, Btg i BtgC. Površinski horizont IP (0–40 cm) karakterizira pepeljasto smeđa boja, praškasto-ilovasta tekstura te sitno mrvičasta struktura, uz prisutnost kalcijeva karbonata (CaCO₃). Sljedeći horizont IIP (40–61 cm) ima svijetlosmeđu boju, zadržava istu praškasto-ilovastu teksturu i sitno mrvičastu strukturu, no bez prisutnosti CaCO₃. U horizontu Btg (61–112 cm) prisutna je mramorirano smeđe-siva boja, tekstura postaje praškasto-glinasto-ilovasta, a struktura krupno mrvičasta, također bez kalcijeva karbonata. Najdublji sloj BtgC (112–140 cm) žute je boje, s praškasto-ilovastom teksturom i

praškastom strukturom, bez prisutnosti CaCO_3 . Ova vertikalna raznolikost ukazuje na promjene u fizikalnim i kemijskim svojstvima tla s dubinom, što može imati značajan utjecaj na njegovu sposobnost zadržavanja vode, prozračnost i prikladnost za poljoprivrednu proizvodnju.

Tablica 22 prikazuje fizikalna svojstva tla na lokalitetu Ivankovo prema različitim slojevima tla. Sloj 1 se prostire od 0 do 40 mm dubine i ima debljinu od 0,4 metra. Ovaj sloj sadrži 3,70% pijeska, 17,96% gline, 0,83% kalcijevog karbonata (CaCO_3) i 1,59% organske tvari. Propusnost vode u ovom sloju je visoka, iznosi 152 mm/j, što ukazuje na vrlo dobru propusnost tla za vodu. Sloj 2, smješten između 40 i 61 mm dubine, ima debljinu od 0,21 metra. U ovom sloju nalazi se 2,73% pijeska i 29,12% gline, dok nema prisutnosti kalcijevog karbonata. Organska tvar čini 0,79% ovog sloja. Propusnost vode je znatno niža nego u Sloju 1, iznosi 43 mm/j, što znači da je tlo u ovom sloju manje propusno. Sloj 3, koji se prostire od 61 do 112 mm dubine i ima debljinu od 0,61 metra, sadrži 2,02% pijeska, 34,02% gline i 0% kalcijevog karbonata, dok udio organske tvari iznosi 0,83%. Propusnost ovog sloja je 24 mm/j, što ukazuje na još nižu propusnost u odnosu na prethodne slojeve. Sloj 4, smješten između 112 i 140 mm dubine, ima debljinu od 0,28 metra. U ovom sloju tlo se sastoji od 2,43% pijeska, 29,95% gline, 0% kalcijevog karbonata i 0,45% organske tvari. Propusnost ovog sloja iznosi 86 mm/j, što je srednja vrijednost u odnosu na ostale slojeve. Zaključno, tlo na lokalitetu Ivankovo pokazuje značajne razlike u propusnosti vode i udjelima pijeska i gline među slojevima. Sloj 1 ima visoku propusnost, dok ostali slojevi imaju manju propusnost i veću koncentraciju gline. Također, tlo sadrži različite količine organske tvari, a prisutnost kalcijevog karbonata je zanemariva u svim slojevima.

Tablica 22. Prikaz fizikalnih svojstava tla na lokalitetu Ivankovo

Sloj	Dubina	Debljina	Pijesak	Glina	Kamenje	CaCO_3	Organska tvar	Tip kamena	Propusnost
	(mm)	(m)	%	%	% Vol.	%	%	1-10	mm j-1
Sloj 1	0-40	0,4	3,70	17,96	0	0,83	1,59	0	152
Sloj 2	40-61	0,21	2,73	29,12	0	0	0,79	0	43
Sloj 3	61-112	0,61	2,02	34,02	0	0	0,83	0	24
Sloj 4	112-140	0,28	2,43	29,95	0	0	0,45	0	86

3.3. Komparativne metode određivanja humusa u tlu

Uzorci tla klasificirani su u tri kategorije prema sadržaju humusa: $<2,0\%$, $2,1-2,5\%$ i $>2,5\%$. Za svaku kategoriju odabran je reprezentativan broj uzoraka, proporcionalno ukupnoj brojnosti uzoraka unutar pojedine skupine. Ovaj reprezentativni broj uzoraka omogućava pouzdanu usporedbu i analizu tla s različitim sadržajem organske tvari. Svaki uzorak tla analiziran je primjenom dviju metoda za određivanje sadržaja organskog ugljika: standardizirane metode prema normi HRN ISO 14235:1998 te Tyurinove 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, provedena su istraživanja koristeći dvije različite analitičke metode: HRN ISO 14235:1998 i Tyurinovu metodu. Ukupno je analizirano 164 uzorka tla, koji su grupirani u tri kategorije prema sadržaju humusa, a u daljnjem radu prikazana je dinamika dobivenih rezultata na 64 uzorka radi lakšeg prikaza rezultata. U prvoj kategoriji, s sadržajem humusa manjim od 2% , grupirano je 26 uzoraka. Druga kategorija obuhvaća uzorke s sadržajem humusa od $2,1\%$ do $2,5\%$, a u ovoj grupi nalazi se 28 uzoraka.

Treća kategorija, koja se odnosi na uzorke s više od $2,5\%$ humusa, uključuje 10 uzoraka. Kategorije uzoraka omogućuju detaljniju analizu varijacija u sadržaju humusa, čime se omogućuje preciznija usporedba između dviju metoda određivanja organskog ugljika. Kategorije su odabrane kako bi se obuhvatio širi raspon tla s različitim sadržajem humusa, s ciljem utvrđivanja mogućih razlika u rezultatima između korištenih metoda.

3.3.1.1. Kategorija $<2\%$ humusa

Tablica 23 prikazuje usporedbu sadržaja humusa u uzorcima tla iz područja Đakova koji spadaju u kategoriju s udjelom humusa manjim od 2% . Za svaki uzorak sadržaj humusa izmjeren je dvjema metodama: HRN ISO 14235:1998 i Tyurinovom metodom. Iz tablice je vidljivo da oba pristupa, iako daju slične rezultate, prikazuju određena odstupanja u procjeni sadržaja humusa. Na primjer, uzorak 6229 ima sadržaj humusa $1,62\%$ prema metodi HRN

ISO 14235:1998 i 1,72% prema Tyurinovoj metodi, što ukazuje na razliku u rezultatima među metodama, ali u relativno malom opsegu.

Slična odstupanja zabilježena su i kod drugih uzoraka, kao što je uzorak 6230, gdje je razlika između metoda 0,12 (1,05% prema 1,17%). Iako su razlike u vrijednostima često male, prosječni sadržaj humusa prema metodi HRN ISO 14235:1998 iznosi 1,47%, dok je prosjek za Tyurinovu metodu nešto viši, 1,57%. Ova razlika od 0,1 može biti rezultat razlika u osjetljivosti ili specifičnostima metoda za određivanje organske tvari u tlu.

Tablica 23. Usporedba sadržaja humusa u tlu (<2% humusa, lokalitet Đakovo) određenog metodama HRN ISO 14235:1998 i Tyurin

HRN ISO 14235:1998		Tyurinova metoda	
Đakovo <2% humusa		Đakovo <2% humusa	
Lab. broj uzorka	Sadržaj humusa (%)	Lab. broj uzorka	Sadržaj humusa (%)
6229	1,62	6229	1,72
6230	1,05	6230	1,17
6231	1,47	6231	1,79
6232	1,16	6232	1,24
6233	1,57	6233	1,83
6234	1,10	6234	1,31
6237	1,64	6237	1,83
6238	1,03	6238	1,07
6243	1,91	6243	1,52
6244	1,28	6244	1,90
6706	1,83	6706	1,72
6707	1,26	6707	1,31
6708	1,72	6708	1,76
6709	1,03	6709	1,21
6710	1,14	6710	1,72
6711	1,18	6711	1,38
6718	0,52	6718	1,55
6719	1,36	6719	1,48
6720	1,75	6720	1,59
6721	1,54	6721	1,52
6736	1,85	6736	1,90
6737	1,78	6737	1,83
7984	1,96	7984	1,76

Rezultati istraživanja			
7986	1,86	7986	1,55
7988	1,75	7988	1,79
7990	1,73	7990	1,48
Prosjek	1,47	Prosjek	1,57

3.3.1.2. Kategorija 2.1-2.5 % humusa

Tablica 24 prikazuje rezultate analize sadržaja humusa u uzorcima tla iz područja Đakova, svrstanim u kategoriju s udjelom humusa između 2,1% i 2,5%. U većini slučajeva, HRN ISO 14235:1998 daje više vrijednosti u odnosu na Tyurinovu metodu. Primjerice, kod uzoraka 6239 (2,38% prema 1,81%), 6245 (2,34% prema 1,80%) i 6251 (2,55% prema 1,90%), razlike između metoda su izražene i prelaze 0,5. Međutim, postoje i slučajevi u kojima Tyurinova metoda daje više vrijednosti, kao kod uzorka 8000 (2,00% prema 2,46%) i 8018 (1,93% prema 2,00%). Ova odstupanja ukazuju na to da između metoda postoji sistematska, ali ne strogo konzistentna razlika u procjeni sadržaja humusa.

Na temelju prikazanih podataka, prosječni sadržaj humusa prema HRN ISO 14235:1998 iznosi 1,88%, dok je prosjek za Tyurinovu metodu nešto niži, 1,71%. Iako oba pristupa daju slične rezultate u većini slučajeva, ovo manja odstupanja između metoda mogu ukazivati na razlike u preciznosti i osjetljivosti metoda, kao i na moguću primjenu različitih principa u mjerenju sadržaja organske tvari.

Tablica 24. Usporedba sadržaja humusa u tlu (2,1-2,5% humusa, lokalitet Đakovo) određenog metodama HRN ISO 14235:1998 i Tyurin

HRN ISO 14235:1998		Tyurinova metoda	
Đakovo 2.1-2.5 % humusa		Đakovo 2.1-2.5 % humusa	
Lab. broj uzorka	Sadržaj humusa (%)	Lab. broj uzorka	Sadržaj humusa (%)
6239	2,38	6239	1,81
6240	1,21	6240	0,97
6241	2,17	6241	2,10
6242	1,52	6242	1,17
6245	2,34	6245	1,80
6246	1,17	6246	0,78
6247	2,07	6247	1,81
6248	0,93	6248	0,85
6251	2,55	6251	1,90
6252	0,86	6252	0,68
6257	2,69	6257	2,36

Rezultati istraživanja			
6258	1,24	6258	1,30
6263	2,03	6263	1,86
6264	1,21	6264	1,10
6722	2,34	6722	2,19
6723	1,66	6723	1,42
6738	2,03	6738	1,56
6739	1,21	6739	1,15
6742	2,65	6742	2,47
6743	1,90	6743	2,00
6744	2,52	6744	2,46
6745	2,03	6745	1,68
6746	2,59	6746	2,42
6747	2,03	6747	1,53
8000	2,00	8000	2,46
8002	1,17	8002	1,76
8016	2,24	8016	2,31
8018	1,93	8018	2,00
Prosjek	1,88	Prosjek	1,71

3.3.1.3. Kategorija >2,5% humusa

Rezultati prikazani u Tablici 25 ukazuju na značajne razlike u vrijednostima sadržaja humusa između dviju metoda. Prosječni sadržaj humusa prema HRN ISO 14235:1998 iznosi 2,54%, dok Tyurinova metoda daje niži prosječni rezultat od 2,11%. Ove razlike postaju očite kod pojedinih uzoraka: na primjer, uzorak 6730 sadrži 4,65% humusa prema HRN ISO 14235:1998, dok Tyurinova metoda pokazuje samo 2,03%, što je velika razlika od 2,62. Slično, uzorak 6750 ima 3,31% humusa prema HRN ISO 14235:1998, a 3,15% prema Tyurinovoj metodi, što ukazuje na manju, ali još uvijek prisutnu razliku. Razlike u rezultatima između metoda također su prisutne u uzorcima poput 6726 i 6731, gdje HRN ISO 14235:1998 pokazuje nešto viši sadržaj humusa. Ove razlike u rezultatima mogu biti posljedica različitih kemijskih ili fizikalnih principa na kojima se temelje obje metode, kao i mogućih razlika u osjetljivosti svake metode na specifične komponente tla.

Tablica 25. Usporedba sadržaja humusa u tlu (>2,5% humusa, lokalitet Đakovo) određenog metodama HRN ISO 14235:1998 i Tyurin

HRN ISO 14235:1998		Tyurinova metoda	
Đakovo >2.5% humusa		Đakovo >2.5% humusa	
Lab. broj uzorka	Sadržaj humusa (%)	Lab. broj uzorka	Sadržaj humusa (%)
6726	3,03	6726	2,73
6727	1,69	6727	1,47
6730	4,65	6730	2,03
6731	2,41	6731	1,51
6732	1,9	6732	1,85
6733	1,45	6733	1,63
6748	2,72	6748	2,59
6749	1,79	6749	1,75
6750	3,31	6750	3,15
6751	2,48	6751	2,34
Prosjek	2,54	Prosjek	2,11

U usporedbi svih triju tablica koje prikazuju rezultate za sadržaj humusa u tlu na temelju dviju različitih metoda određivanja organskog ugljika (HRN ISO 14235:1998 i Tyurinova metoda), možemo primijetiti značajne varijacije među podacima. U tablici 1, koja obuhvaća uzorke s manje od 2% humusa, prosječni sadržaj humusa prema HRN ISO 14235:1998 iznosi 1,47%, dok Tyurinova metoda pokazuje nešto viši prosjek od 1,57%. Ove razlike u prosječnim vrijednostima ukazuju na blage varijacije između dviju metoda, pri čemu Tyurinova metoda bilježi nešto viši sadržaj humusa u odnosu na HRN ISO 14235:1998. U tablici 2, koja prikazuje uzorke s 2,1-2,5% humusa, prosjek sadržaja humusa prema HRN ISO 14235:1998 iznosi 1,88%, dok Tyurinova metoda daje niži prosječni rezultat od 1,71%. U ovoj kategoriji, također se primjećuje veća razlika između metoda, posebno u uzorcima poput 6240 i 6252, gdje Tyurinova metoda bilježi značajno niže rezultate od HRN ISO 14235:1998. Tablica 3, koja obuhvaća uzorke s više od 2,5% humusa, prikazuje prosječne vrijednosti sadržaja humusa prema HRN ISO 14235:1998 od 2,54%, dok Tyurinova metoda daje niži prosjek od 2,11%. Ovdje također postoje razlike u pojedinačnim rezultatima, pri čemu Tyurinova metoda pokazuje niži sadržaj humusa u odnosu na HRN ISO 14235:1998 za većinu uzoraka, kao što je slučaj s uzorcima 6726 i 6730.

3.3.2. Lokalitet Ivankovo

Na lokalitetu Ivankovo provedeno je istraživanje u cilju usporedbe dviju metoda za određivanje organskog ugljika u tlu. Ukupno je analizirano 86 uzoraka tla, koji su prema sadržaju humusa grupirani u tri kategorije. Prva kategorija obuhvaća uzorke tla s sadržajem humusa manjim od 2%, u kojoj je grupirano 42 uzorka. Druga kategorija uključuje uzorke s udjelom humusa između 2,1% i 2,5%, dok je u ovoj grupi smješteno 36 uzoraka. Treća kategorija obuhvaća uzorke s većim sadržajem humusa, od 2% i više, a u ovoj grupi nalaze se 8 uzoraka. Ovakav raspored uzoraka u tri različite kategorije omogućuje precizniju analizu varijacija u sadržaju humusa i njegovih učinaka na točnost i pouzdanost različitih metoda za određivanje organskog ugljika.

3.3.2.1. Kategorija <2% humusa

Tablica 26 prikazuje rezultate analize sadržaja humusa u tlu za lokalitet Ivankovo u kategoriji uzoraka s manje od 2% humusa, uspoređujući dvije različite metode određivanja organskog ugljika: HRN ISO 14235:1998 i Tyurinovu metodu. Ukupno je analizirano 42 uzorka, a za svaki uzorak prikazane su vrijednosti sadržaja humusa dobivene primjenom obje metode.

Rezultati pokazuju da Tyurinova metoda sustavno daje više vrijednosti sadržaja humusa u odnosu na HRN ISO metodu, što je potvrđeno i srednjim vrijednostima: prosječni sadržaj humusa prema HRN ISO metodi iznosi 1,56%, dok prema Tyurinovoj metodi iznosi 1,83%.

Tablica 26. Usporedba sadržaja humusa u tlu (<2% humusa, lokalitet Ivankovo) određenog metodama HRN ISO 14235:1998 i Tyurin

HRN ISO 14235:1998		Tyurinova metoda	
Ivankovo <2% humusa		Ivankovo <2% humusa	
Lab. broj uzorka	Sadržaj humusa (%)	Lab. broj uzorka	Sadržaj humusa (%)
5064	1,48	5064	2,20
5065	1,48	5065	1,59
5066	1,38	5066	1,56
5067	1,21	5067	1,36
5068	1,55	5068	1,54
5069	1,17	5069	1,22
5070	1,72	5070	1,61
5071	1,59	5071	1,66
5072	1,38	5072	1,46
5073	1,10	5073	1,29
5074	1,45	5074	1,73

5075	1,76	5075	1,37
5076	1,69	5076	1,71
5077	1,34	5077	1,47
5078	1,59	5078	1,75
5079	1,55	5079	1,81
5080	1,59	5080	1,97
5081	1,31	5081	1,46
5082	1,76	5082	2,24
5083	1,52	5083	1,73
5084	1,69	5084	1,88
5085	1,62	5085	1,56
5086	1,83	5086	2,29
5087	1,66	5087	2,08
5088	1,69	5088	2,07
5089	1,76	5089	2,19
5092	1,72	5092	1,80
5093	1,59	5093	1,97
5094	1,93	5094	1,98
5095	1,41	5095	1,51
6696	1,28	6696	2,05
6697	1,97	6697	1,53
6702	1,69	6702	2,12
6703	1,62	6703	1,95
8028	1,66	8028	2,02
8029	1,41	8029	1,76
8032	1,76	8032	2,31
8033	1,79	8033	2,39
8036	1,79	8036	2,41
8037	1,79	8037	1,64
8038	1,10	8038	2,12
8039	1,14	8039	2,32
Prosjeak	1,56	Prosjeak	1,83

3.3.2.2. Kategorija 2.1-2.5% humusa

Tablica 27 prikazuje usporedne rezultate određivanja sadržaja humusa u tlu za uzorke s lokaliteta Ivankovo u kategoriji tla s udjelom humusa između 2,1 i 2,5%. Usporedba je napravljena pomoću dvije različite metode: HRN ISO 14235:1998, koja se temelji na oksidaciji ugljika s dikromatom, i Tyurinove metode, koja također koristi dikromat, ali u kombinaciji s titracijom i ima drugačiji analitički pristup. Rezultati pokazuju značajnu razliku između dviju metoda. Prosječna vrijednost sadržaja humusa određena HRN ISO metodom iznosi 1,91%, dok je prosjek Tyurinove metode 1,43%, što ukazuje da Tyurinova metoda sustavno daje niže vrijednosti u odnosu na standardiziranu HRN ISO metodu u ovoj kategoriji uzoraka

Tablica 27. Usporedba sadržaja humusa u tlu (2,1-2,5% humusa, lokalitet Ivankovo) određenog metodama HRN ISO 14235:1998 i Tyurin

HRN ISO 14235:1998		Tyurinova metoda	
Ivankovo 2.1-2.5% humusa		Ivankovo 2.1-2.5% humusa	
Lab. broj uzorka	Sadržaj humusa (%)	Lab. broj uzorka	Sadržaj humusa (%)
5090	2,28	5090	1,41
5091	1,59	5091	1,30
6666	2,34	6666	1,58
6667	2,65	6667	1,24
6668	2,17	6668	1,49
6669	2,55	6669	1,36
6674	2,24	6674	1,73
6675	2,83	6675	1,20
6676	2,17	6676	1,61
6677	1,86	6677	1,17
6680	2,07	6680	1,63
6681	1,38	6681	1,01
6682	2,17	6682	1,58
6683	1,48	6683	1,24
6684	2,14	6684	1,43
6685	1,45	6685	1,18
6686	2,10	6686	1,49
6687	1,69	6687	1,20
6688	2,17	6688	1,75
6689	1,62	6689	1,25
6690	2,10	6690	1,58
6691	1,48	6691	1,49
6692	2,14	6692	1,73
6693	1,52	6693	1,43
6698	2,24	6698	2,10
6699	1,69	6699	1,44
6700	1,97	6700	1,60
6701	1,21	6701	1,10
6704	2,07	6704	1,55
6705	1,59	6705	1,34
8030	2,07	8030	1,73
8031	1,10	8031	1,01

8034	1,76	8034	1,68
8035	1,79	8035	0,94
8040	2,00	8040	1,55
8041	1,21	8041	1,29
Prosjek	1,91	Prosjek	1,43

3.3.2.3. Kategorija >2,5% humusa

Tablica 28 prikazuje rezultate određivanja sadržaja humusa u tlu za uzorke s lokaliteta Ivankovo. Rezultati pokazuju da su obje metode dale relativno slične vrijednosti, uz manja odstupanja po uzorcima. Prosječna vrijednost sadržaja humusa prema HRN ISO metodi iznosi 2,38%, dok je prosjek prema Tyurinovoj metodi 2,25%, što znači da ISO metoda daje neznatno više vrijednosti (za 0,13% u prosjeku). U odnosu na prethodne kategorije (<2% i 2,1–2,5% humusa), u ovoj skupini je najmanja razlika između metoda, što ukazuje da su metode međusobno pouzdanije i usklađenije pri višem udjelu organske tvari.

Tablica 28. Usporedba sadržaja humusa u tlu (>2,5% humusa, lokalitet Ivankovo) određenog metodama HRN ISO 14235:1998 i Tyurin

HRN ISO 14235:1998		Tyurinova metoda	
Ivankovo >2,5% humusa		Ivankovo >2,5% humusa	
Lab. broj uzorka	Sadržaj humusa (%)	Lab. broj uzorka	Sadržaj humusa (%)
6670	2,97	6670	2,61
6671	2,17	6671	2,27
6672	2,69	6672	2,44
6673	2,9	6673	2,36
6678	2,38	6678	2,53
6679	2,17	6679	2,30
6694	2,48	6694	2,18
6695	1,31	6695	1,27
Prosjek	2,38	Prosjek	2,25

U prikazu rezultata šest tablica koje uspoređuju dvije metode određivanja sadržaja humusa – HRN ISO 14235:1998 i Tyurinovu metodu – na dvama lokalitetima (Đakovo i Ivankovo) i u tri kategorije sadržaja humusa (<2%, 2,1–2,5%, >2,5%), vidljivo je da postoje određena odstupanja između rezultata dobivenih različitim metodama. U tablicama za lokalitet Đakovo, prosječne vrijednosti za HRN ISO metodu u svim kategorijama iznose redom: 1,47% (<2%), 1,88% (2,1–2,5%) i 2,54% (>2,5%), dok su za Tyurinovu metodu iste kategorije: 1,57%,

1,71% i 2,11%.

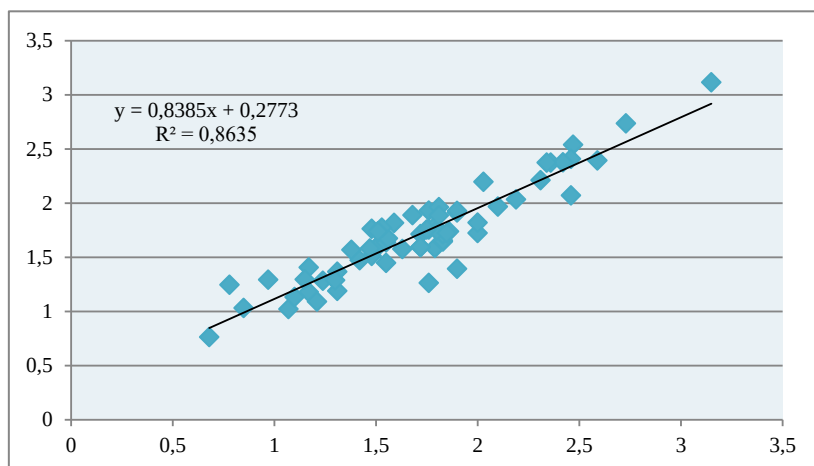
Ovdje možemo uočiti da kod najniže kategorije Tyurinova metoda daje nešto više vrijednosti, dok se kod srednje kategorije razlika smanjuje, a kod najviše ISO metoda daje znatno više rezultate. Slično se primjećuje i kod lokaliteta Ivankovo. Prosjeci za ISO metodu iznose: 1,56% (<2%), 1,91% (2,1–2,5%) i 2,38% (>2,5%), dok su za Tyurinovu metodu: 1,83%, 1,43% i 2,25%. U ovom slučaju, u kategoriji <2% Tyurinova metoda opet pokazuje više vrijednosti, dok u srednjoj i visokoj kategoriji ISO metoda daje više. Uočljivo je da razlike između metoda nisu konzistentne – u nekim slučajevima Tyurinova metoda daje više, u drugima ISO, a razlike variraju ovisno o količini humusa. Najveće prosječno odstupanje pojavljuje se u Ivankovo (2,1–2,5%), gdje je razlika čak 0,48% u korist ISO metode. Najmanje razlike vidljive su u Ivankovo (>2,5%), gdje je odstupanje svega 0,13%. Iako se čini da postoji određena nesuglasnost između metoda, konačnu ocjenu o njihovoj međusobnoj pouzdanosti i usporedivosti moguće je dati tek nakon statističke analize korelacije, kojom će se utvrditi koliko su rezultati međusobno povezani.

3.4. Modeli usporedbe metoda za određivanje humusa u tlu

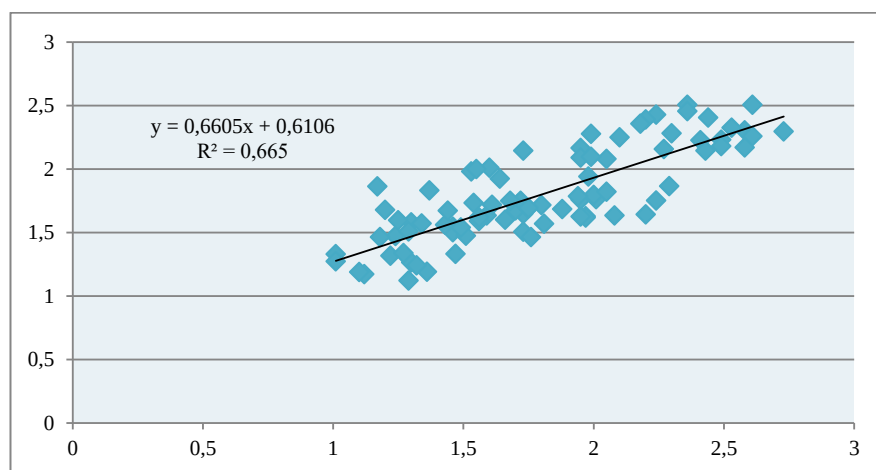
Modeli usporedbe ekstrakcijskih metoda zasnivaju se na korelacijama između pojedinih metoda i jedandžbama proračuna vrijednosti određenih metoda na temelju analitičkih rezultata drugih ekstrakcijskih metoda i ostalih svojstava tla.

U našem 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 19 i 20). Utvrđena korelacija odnosila se na ukupan broj uzoraka novisno o kategoriji opskrbljenosti tla humusom.

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



Graf 19. Korelacija između metoda za određivanje humusa na lokalitetu Đakovo



Graf 20. Korelacija između metoda za određivanje humusa na lokalitetu Ivankovo

3.4.1. Regresijski modeli

Regresijski modeli za usporedbu metoda ekstrakcije humusa u tlu razvijeni su s ciljem omogućavanja procjene sadržaja humusa 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 humusa, pH vrijednost tla te ostala kemijska svojstva, a na temelju tih podataka moguće je predvidjeti sadržaj humusa 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 humusa određen jednom metodom (npr. bikromatnom) izračunava isključivo na temelju rezultata sadržaja humusa 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 humusa kao ulazni parametar. Matematički, ovi modeli izraženi su sljedećom regresijskom jednadžbom:

$$Y = \text{osječak} + H \cdot X_1$$

gdje je „Y“ procijenjeni sadržaj humusa 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 humusa (%), 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 humusa 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 humusa. Ovim se pristupom sadržaj humusa 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 humusa 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 humusa dobiven ciljnom metodom, zatim odsječak na y-osi, „H“ je koeficijent vezan uz sadržaj humusa 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 humusa rezultirala je

promjenom koeficijenata koeficijenata korelacije, ali je istovremeno potvrdila postojanje statistički značajne povezanosti između pHKCl tla i sadržaja humusa 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 humusa na temelju vrijednosti analizom utvrđenog sadržaja humusa i ostalih svojstava tla. Uvođenje dodatnih svojstava tla u linearnu multiregresijsku jednadžbu $Y = H + HX_1 + SX_2$ utjecalo je na odstupanje modela (tablica 29.), a 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 humusa od 2,5 % dok je preciznost modela za kategoriju uzoraka od 2-2,5 % bila vrlo slična osnovnom modelu što je vidljivo u Tablici 29

Tablica 29. Parametri regresijskih jednadžbi i odstupanje modela za proračun humusa na temelju Tjurin metode i supstitucijske pH tla na lokalitetu Đakovo

humus	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 (humus), 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 % humusa za oba modela.

Tablica 30. Parametri regresijskih jednadžbi i odstupanje modela za proračun humusa na temelju Tjurin metode i supstitucijske pH tla na lokalitetu Ivankovo

humus	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 (humus), 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 (Despaigne 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 humusa 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 humusom.

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 31.). Slika 2 prikazuje da je u modelu puno veći utjecaj imala vrijednost humusa u odnosu na vrijednost pHKCl. Naime, najvažnija ulazna varijabla bila je sadržaj humusa 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 XX 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

Tablica 31. 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 Ivanka

Primjena NN na lokalitetu Ivanka (Slika 3) pokazala je nešto drugačiju vrijednost ulaznih parametara iako je koeficijent koelracije bio isti kao i kod regresijskih modela $r=0,82$. Naime, analiza relativne važnosti ulaznih varijabli pokazuje da sadržaj humusa 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 ravnomjieran utjecaj obje varijable na rad mreže, čime se potvrđuje značaj pH tla kao dodatnog prediktora u modelima za procjenu humusa.

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 Ivankaovo

Općenito možemo reći da je model na lokalitetu Ivankaovo 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 32. Osnovi statistički pokazatelji NN za lokalitet Ivankaovo

Statistika regresije	
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 pod različitim agrotehničkim uvjetima.

3.6.1. Početne vrijednosti sadržaja humusa 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 humusa i organskog ugljika, 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 33. U Đakovu, u tretmanu s orasima, površinski sloj tla (0–30 cm) sadržavao je 1,76 % humusa 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 ovih vrijednosti – sadržaj humusa pao je na 1,28 %, a organskog ugljika na 0,74 %. Ovaj pad je očekivan, jer se organska tvar prirodno akumulira u površinskim slojevima tla gdje je veća aktivnost korijena i mikroorganizama. Usporedbom s kontrolnim uzorcima u Đakovu, vidljivo je da je sadržaj humusa i organskog ugljika na dubini 0–30 cm jednak onome iz tretmana s orasima – 1,76 % humusa i 1,02 % organskog ugljika. Međutim, na dubini od 30–60 cm, kontrola pokazuje nešto bolje vrijednosti: humus 1,41 % i organski ugljik 0,82 %, što sugerira da u tlu bez prisutnosti oraha postoji bolja očuvanost organske tvari u dubljim slojevima. Kada se uzmu prosječne vrijednosti za Đakovo, kontrolni uzorci pokazuju viši ukupni sadržaj humusa (1,59 %) i organskog ugljika (0,92 %) u odnosu na tretman s orasima (1,52 % humusa i 0,88 % organskog ugljika). Ovi rezultati upućuju na to da prisutnost oraha u sustavu proizvodnje može imati blago negativan učinak na akumulaciju i očuvanje organske tvari u tlu. Slični trendovi uočeni su i na lokaciji Ivankovo. U tretmanu s orasima, površinski sloj tla (0–30 cm) sadržavao je 1,72 % humusa i 1,00 % organskog ugljika, dok su vrijednosti u dubljem sloju (30–60 cm) iznosile 1,34 % humusa i 0,78 % organskog ugljika. Ove brojke potvrđuju vertikalni gradijent raspodjele organske tvari u tlu, s većim udjelima u površinskom sloju. S druge strane, kontrolni uzorci u Ivankovu pokazali su najviše vrijednosti od svih analiziranih uzoraka: u sloju 0–30 cm humus je iznosio 1,90 %, a organski ugljik 1,11 %, dok su i na dubini 30–60 cm vrijednosti bile vrlo

visoke – 1,79 % humusa i 1,04 % organskog ugljika. Ukupno gledano, kontrola u Ivankovu ima najviši prosječan sadržaj organske tvari – 1,85 % humusa i 1,08 % organskog ugljika, dok tretman s orasima ima niže vrijednosti (1,53 % humusa i 0,89 % organskog ugljika).

Usporedba svih podataka ukazuje na jasan obrazac: kontrolni uzorci, odnosno tlo koje nije bilo pod utjecajem oraha, sadrži više humusa i organskog ugljika. Osim toga, dubina tla igra ključnu ulogu – u svim slučajevima, sadržaj organske tvari opada s povećanjem dubine, što je u skladu s prirodnim zakonitostima razgradnje i akumulacije organske tvari.

Općenito, rezultati analize početnog stanja tla sugeriraju da uvođenje oraha u sustav poljoprivredne proizvodnje može dovesti do smanjenja sadržaja organske tvari, osobito u dubljim slojevima tla. Mogući razlozi za to uključuju promjene u mikrobiološkoj aktivnosti, smanjenje raspadanja biljne mase, promijenjenu dinamiku korijena i eventualni alelopatski učinak koji orasi mogu imati na tlo i njegove biološke procese.

Tablica 33. Početni sadržaj humusa i organskog ugljika na oba lokaliteta

Redni broj	Lokacija	Tretman	Dubina	Humus	Org C
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
	Ukupno KONTROLA				0,92
	Ukupno 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

8	Ivankovo	kontrola	30-60	1,79	1,04
	Ukupno KONTROLA			1,85	1,08
	Ukupno 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 su razdoblju provedena ukupno 11 uzorkovanja tla: po jedno u 2018., 2019. i 2020. godini, pet uzorkovanja tijekom 2021. te tri u 2022. godini. Analize su omogućile uvid u varijabilnost zadržavanja ugljika u tlu pod različitim agrotehničkim uvjetima i vremenskim prilikama

3.6.2.1. Uzorkovanje tla u 2018. godini

Analiza podataka (prikazanih u Tablici 34) o sadržaju humusa (organske tvari) i organskog ugljika u različitim sustavima poljoprivredne proizvodnje pokazuje 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 značajno niže – 1,12 % organske tvari i 0,65 % organskog ugljika. Ukupni prosjek svih uzoraka iznosi 1,56 % za humus 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 pokazuje 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 su minimalne i unutar granica prirodne varijabilnosti tla, što znači da nije došlo do značajnog gubitka organske tvari u razdoblju od godinu dana. Očuvanje gotovo istih vrijednosti ukazuje na stabilnost tla na kontrolnim površinama.

Usporedba podataka za voćnjak između 2018. i 2019. godine pokazuje 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 ukazuju na 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 moguća jer je taj sustav uspostavljen nakon uzimanja početnih uzoraka tla.

Tablica 34. Prikaz stanja humusa 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

Rezultati istraživanja					
15	8	Konsocijacija	0-30	2,17	1,26
16			30-60	1,07	0,62
17	9	Konsocijacija	0-30	2,28	1,33
18			30-60	0,97	0,56
Ukupno konsocijacija			0-30	1,99	1,15
			30-60	1,10	0,64
			Ukupno 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
Ukupno voćnjak (orasi)			0-30	2,05	1,19
			30-60	1,10	0,64
			Ukupno 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
Ukupno kontrola			0-30	1,93	1,12
			30-60	1,20	0,70
			Ukupno za obje dubine	1,57	0,91

3.6.2.2. Uzorkovanje tla u 2019. godini

Usporedba podataka iz 2019. godine (prikazano u Tablici 35) pokazuje 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 slijedi 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 %. Ovi rezultati upućuju na to da sustavi gospodarenja s biljnim pokrovom, poput voćnjaka i konsocijacija, mogu doprinijeti većem nakupljanju organske tvari u tlu u odnosu na neobrađene ili nekultivirane površine. Usporedba rezultata mjerenja sadržaja organske tvari i organskog ugljika u tlu iz 2018. i 2019. godine za tri poljoprivredna sustava – konsocijaciju, voćnjak i kontrolu – pokazuje 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 %. Ovo smanjenje može se objasniti početnom obradom tla prilikom uspostave sustava, nedostatkom svježeg unosa organske mase ili povećanom mikrobiološkom razgradnjom. Suprotno tome, u voćnjaku se bilježi 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 %. Ovaj pozitivan trend može se pripisati većem nakupljanju biljnih ostataka, smanjenoj obradi tla te stabilnijim i prirodnijim uvjetima u voćnjaku.

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 35. Prikaz stanja humusa 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

Rezultati istraživanja					
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
Ukupno kontrola			0-30	1,67	0,97
			30-60	1,56	0,91
			Ukupno 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

Rezultati istraživanja					
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
Ukupno konsocijacija			0-30	2,25	1,31
			30-60	1,91	1,11
			Ukupno 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
Ukupno voćnjak (orasi)			0-30	2,41	1,40
			30-60	1,92	1,09
			Ukupno 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. Podaci pokazuju kako su uzgojni sustavi konsocijacija i voćnjak značajno povećavali količine organske tvari i ugljika u tlu u odnosu na kontrolu, posebno u gornjem sloju tla (0–30 cm), gdje su vrijednosti najviše. Navedeni podaci prikazani su u Tablici 36.

Usporedbom podataka 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 pokazuje gotovo stabilne vrijednosti – organska tvar je neznatno pala s 2,17% na 2,14%, dok je sadržaj ugljika ostao nepromijenjen na 1,24%.

Ovi podaci sugeriraju da uzgojni sustavi poput konsocijacije i voćnjaka bolje zadržavaju ili čak neznatno povećavaju količine organskog ugljika u tlu, dok kontrola pokazuje lagano osiromašenje organske tvari i ugljika tijekom perioda između 2019. i 2020. godine.

Tablica 36. Prikaz stanja humusa 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

Rezultati istraživanja

Rezultati istraživanja					
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
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
Ukupno kontrola			0-30	1,69	0,98
			30-60	1,39	0,81
			Ukupno 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

Ukupno konsocijacija			Rezultati istraživanja		
			0-30	2,50	1,45
			30-60	1,76	1,02
			Ukupno 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
Ukupno voćnjak (orasi)			0-30	2,53	1,45
			30-60	1,76	1,02
			Ukupno 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 sukcesivno kroz vegetacijsku sezonu, na dvije dubine tla (0–30 cm i 30–60 cm), a rezultati svakog uzorkovanja prikazani su u Tablicama

37-41. Ovakav pristup omogućio je uvid u sezonske promjene i utjecaj različitih agrotehničkih mjera na plodnost tla.

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 podataka 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. Ova kretanja upućuju na to da, iako uzgojni sustavi i dalje imaju višu razinu organske tvari i ugljika u odnosu na kontrolu, između 2019. i 2021. došlo je do smanjenja njihove koncentracije, moguće zbog promjena u agrotehničkim praksama, vremenskim uvjetima ili dinamici razgradnje organske tvari.

Tablica 37. Prikaz stanja humusa 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

Rezultati istraživanja					
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
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
Ukupno kontrola			0-30	1,74	1,01
			30-60	1,41	0,82
			Ukupno 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

			Rezultati istraživanja		
Ukupno konsocijacija			0-30	2,16	1,23
			30-60	1,62	0,89
			Ukupno za obje dubine	1,89	1,06
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
Ukupno voćnjak (orasi)			0-30	2,16	1,23
			30-60	1,62	0,89
			Ukupno za obje dubine	1,80	1,04

Prema prikazanim podacima, 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 pokazuje najviše vrijednosti: 1,85% organske tvari i 1,07% ugljika, dok je voćnjak (orasi) nešto niži, s 1,76% organske tvari i 1,02% ugljika. Razlike su najuočljivije u površinskom sloju tla (0–30 cm), gdje konsocijacija (2,10% OT, 1,22% C) i voćnjak (2,07% OT, 1,20% C) značajno nadmašuju kontrolu (1,63%

OT, 0,95% C). Ovi rezultati jasno ukazuju na pozitivan učinak spomenutih uzgojnih sustava na povećanje sadržaja organske tvari i ugljika u tlu, što je ključno za poboljšanje plodnosti i stabilnosti tla. Navedeni podaci nalaze se u Tablici 37.

Analiza podataka iz prvog i drugog mjerenja tijekom 2021. godine pokazuje 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 opao s 1,89% na 1,85%, dok je sadržaj organskog ugljika minimalno porastao s 1,06% na 1,07%. Površinski sloj (0–30 cm) također pokazuje 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. Iako su promjene relativno male, mogu se povezati sa sezonskim utjecajima, procesom mineralizacije organske tvari te varijacijama u vlažnosti i biološkoj aktivnosti tla.

Tablica 38. Prikaz stanja humusa 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

Rezultati istraživanja					
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
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
Ukupno kontrola			0-30	1,63	0,95
			30-60	1,24	0,72
			Ukupno 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

Rezultati istraživanja					
31	16	Konsocijacija	0-30	2,14	1,24
32			30-60	1,97	1,15
Ukupno konsocijacija			0-30	2,10	1,22
			30-60	1,60	0,93
			Ukupno za obje dubine	1,85	1,07
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
Ukupno voćnjak (orasi)			0-30	2,07	1,20
			30-60	1,44	0,84
			Ukupno za obje dubine	1,76	1,02

Usporedba sadržaja organske tvari i organskog ugljika u tri različita uzgojna sustava pokazuje određene razlike koje ovise o tipu uzgoja i dubini tla. U kontrolnom uzgojnom sustavu, prosječni sadržaj organske tvari iznosi 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 bilježi najveće vrijednosti s prosjekom od 1,85% organske tvari i 1,07% ugljika, pri čemu su veće koncentracije prisutne u površinskom sloju tla (0–30 cm), dok su niže u dubljem sloju. To ukazuje na pozitivan učinak biljnih ostataka i korijenske mase na povećanje organske tvari pri površini. Voćnjak s orasima ima 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 – površinski sloj ima veći sadržaj tvari, dok je dublji sloj siromašniji. Navedeni podaci prikazani su u Tablici 39. Usporedba podataka iz drugog i trećeg mjerenja u 2021. godini pokazuje 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 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 pokazuje 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 39. Prikaz stanja humusa 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
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
Ukupno kontrola			0-30	1,72	1,00
			30-60	1,75	1,02
			Ukupno 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

Rezultati istraživanja					
32			30-60	1,69	0,98
Ukupno konsocijacija			0-30	2,07	1,20
			30-60	1,62	0,94
			Ukupno za obje dubine	1,85	1,07
33	17	Voćnjak (orasi)	0-30	2,00	1,16
34			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
Ukupno voćnjak (orasi)			0-30	2,01	1,11
			30-60	1,50	0,87
			Ukupno za obje dubine	1,75	0,99

Usporedba sadržaja organske tvari i organskog ugljika u tri različita uzgojna sustava prema Tablici 40 pokazuje jasne razlike u kvaliteti tla između sustava. Najniže vrijednosti zabilježene su u kontrolnom sustavu, gdje ukupni prosjek organske tvari iznosi 1,80%, a organskog ugljika 1,02%. Ove vrijednosti su relativno uravnotežene između površinskog (0–30 cm) i dubljeg sloja tla (30–60 cm), što ukazuje na ograničenu biološku aktivnost i unos organske mase u tlo. Sustav konsocijacije pokazuje znatno veće vrijednosti, s ukupno 2,19% organske tvari i 1,27% ugljika, pri čemu su oba sloja tla bogatija organskom tvari u odnosu na kontrolu. Površinski sloj posebno se ističe s 2,40% OT i 1,39% C, što može ukazivati na veću prisutnost biljnih ostataka i učinkovitiju razgradnju organske tvari. Najpovoljnije rezultate pokazuje voćnjak s orasima, u kojem je ukupni sadržaj organske tvari 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 pokazuje 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 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 ističe površinski sloj tla (0–30 cm), gdje je OT porasla s 2,07% na 2,40%, a C s 1,20% na 1,39%, što može ukazivati na intenzivniju biološku aktivnost i veći unos biljnog materijala. 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 40. Prikaz stanja humusa 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

Rezultati istraživanja					
15	8	Kontrola	0-30	1,72	1,00
16			30-60	1,79	1,04
Ukupno kontrola			0-30	1,88	1,04
			30-60	1,73	1,01
			Ukupno 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
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
Ukupno konsocijacija			0-30	2,40	1,39
			30-60	1,99	1,16
			Ukupno 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	0-30	2,69	1,56

Rezultati ispitivanja					
36		(orasi)	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
Ukupno voćnjak (orasi)			0-30	2,65	1,54
			30-60	2,22	1,29
			Ukupno za obje dubine	2,43	1,41

Usporedba sadržaja organske tvari i organskog ugljika u tri različita uzgojna sustava pokazuje jasne razlike u kvaliteti tla između sustava. Kontrolni sustav ima najniže vrijednosti, s ukupnim sadržajem organske tvari od 1,52% i organskog ugljika od 0,88%. Površinski sloj (0–30 cm) sadrži 1,58% OT i 0,92% C, dok dublji sloj (30–60 cm) pokazuje nešto niže vrijednosti – 1,46% OT i 0,85% C. Konsocijacijski sustav pokazuje poboljšane vrijednosti u odnosu na kontrolu, s ukupno 1,67% organske tvari i 0,97% ugljika. U površinskom sloju bilježi se 1,94% OT i 1,13% C, dok je u dubljem sloju vidljivo smanjenje na 1,40% OT i 0,81% C. Ove vrijednosti ukazuju na veću biološku aktivnost i bolju opskrbu organskim materijalom u površinskom sloju. Najbolje rezultate daje voćnjak s orasima, gdje ukupni sadržaj organske tvari iznosi 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 nešto manji – 1,52% OT i 0,88% C. Navedeni podaci nalaze se u Tablici 41.

Usporedba podataka iz četvrtog i petog mjerenja 2021. godine pokazuje 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 vidljiv je 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 uočava se također 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 još izraženije – OT s 1,99% na 1,40%, a C s 1,16% na 0,81%. Najveći apsolutni pad primijećen je 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 pokazuje 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 41. Prikaz stanja humusa 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
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
Ukupno kontrola			0-30	1,58	0,92
			30-60	1,46	0,85
			Ukupno za obje dubine	1,52	0,88
17	9	Konsocijacija	0-30	1,86	1,08
18			30-60	1,38	0,80

Rezultati istraživanja					
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
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
Ukupno konsocijacija			0-30	1,94	1,13
			30-60	1,40	0,81
			Ukupno 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

Rezultati istraživanja					
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
Ukupno voćnjak (orasi)			0-30	2,04	1,19
			30-60	1,52	0,88
			Ukupno 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 prema prikazanim podacima u Tablici 42, pokazuje 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 iznosi 1,67% u površinskom sloju i 1,59% u dubljem sloju, dok je ukupan prosjek za obje dubine 1,63%. Sadržaj organskog ugljika kreće se od 0,97% u površinskom do 0,92% u dubljem sloju, s ukupnim prosjekom od 0,95%. Kod konsocijacije primjetno su veće vrijednosti – u površinskom sloju organska tvar iznosi 2,09%, a u dubljem 1,82%, što rezultira prosjekom od 1,96%. Organski ugljik također je viši i iznosi 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 2,56%, a u dubljem 1,66%, što daje ukupno 2,11%. Organski ugljik u ovom sustavu iznosi 1,49% u površinskom sloju i 0,97% u dubljem, s prosječnim udjelom od 1,23%. Iz usporedbe je vidljivo da voćnjak ima najviši prosječni sadržaj organske tvari i ugljika, zatim slijedi konsocijacija, dok kontrola ima najniže vrijednosti.

Usporedba podataka iz prvog mjerenja 2022. godine i petog mjerenja 2021. godine pokazuje 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 također rast: 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 uočava se u voćnjaku s orasima. 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 42. Prikaz stanja humusa 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

Rezultati istraživanja

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
Ukupno kontrola			0-30	1,67	0,97
			30-60	1,59	0,92
			Ukupno 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
Ukupno konsocijacija			0-30	2,09	1,21

			Rezultati istraživanja		
			30-60	1,82	1,06
			Ukupno 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 (orasi)	0-30	2,41	1,40
40			30-60	1,40	0,81
Ukupno voćnjak (orasi)			0-30	2,56	1,49
			30-60	1,66	0,97
			Ukupno za obje dubine	2,11	1,23

Usporedba sadržaja organske tvari i organskog ugljika u tri različita uzgojna sustava prema podacima iz Tablice 43 pokazuje 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 bio je 2,11%. Organski ugljik je također 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 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, a kontrola ima najniže vrijednosti u oba parametra. Usporedba podataka iz drugog mjerenja iz 2022. godine s podacima iz prvog mjerenja iz 2022. godine pokazuje

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%. Organski ugljik je također pokazao rast, 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 rastao, 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 43. Prikaz stanja humusa 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

Rezultati istraživanja					
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
Ukupno kontrola			0-30	1,75	1,02
			30-60	1,78	1,01
			Ukupno 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

Rezultati istraživanja					
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
Ukupno konsocijacija			0-30	2,20	1,29
			30-60	2,02	1,18
			Ukupno za obje dubine	2,11	1,23
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
Ukupno voćnjak (orasi)			0-30	2,42	1,41
			30-60	2,27	1,32
			Ukupno za obje dubine	2,34	1,36

Usporedba sadržaja organske tvari i organskog ugljika u tri različita uzgojna sustava prema podacima iz Tablice 44 pokazuje 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 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 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 ukazuje 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 smanjen je 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 smanjen je 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 44. Prikaz stanja humusa 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
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
Ukupno kontrola			0-30	1,71	0,99
			30-60	1,48	0,86
			Ukupno za obje dubine	1,59	0,93

Rezultati istraživanja					
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
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
Ukupno konsocijacija			0-30	1,89	1,10
			30-60	1,50	0,88
			Ukupno 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

Rezultati istraživanja					
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
Ukupno voćnjak (orasi)			0-30	2,11	1,23
			30-60	1,81	1,05
			Ukupno za obje dubine	1,96	1,14

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

Usporedba podataka iz trećeg mjerenja iz 2022. godine s onima iz 2018. godine pokazuje 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 porastao 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.

Konsocijacija također pokazuje pozitivan razvoj, osobito u dubljem sloju tla. Kontrola bilježi tek blage promjene s tendencijom smanjenja u površinskom sloju, što može upućivati na potrebu za dodatnim mjerama poboljšanja kvalitete tla u tom sustavu.

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 humusa i organskoga ugljika u tlu, koji su korišteni u daljnjem računanju zaliha ugljika u tlu, koristeći formulu:

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

CS= zaliha ugljika u tlu (carbon stock)

SOC= koncentracija organskog ugljika u tlu (organic carbon)

Pb= volumna gustoća tla (g cm^{-3})

D= dubina tla

Dobivene vrijednosti zalihe ugljika u tlu dalje se uvrštavaju u formulu za izračun sekvestracije ugljika u tlu. Za izračun navedenoga koristila se formula:

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

SU = sekvestracija ugljika

SU_{xgod} = stanje ugljika promatrane (x) godine

3.6.2.8. Zalihe i sekvestracija ugljika u tlu na lokalitetu Đakovo

U tablicama 45 i 46 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 13 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 45. 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):
$CS = 0,88 \times 1,54 \text{ g cm}^{-3} \times 60 \text{ cm} \times 100 = 8131,20 \text{ kg C ha}^{-1}/1000 = 8,13 \text{ t C ha}^{-1}$
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:
$CS = 0,89 \times 1,54 \text{ g cm}^{-3} \times 60 \text{ cm} \times 100 = 8223,60 \text{ kg C ha}^{-1}/1000 = 8,22 \text{ t C ha}^{-1}$
Konsocijacija:
$CS = 1,24 \times 1,54 \text{ g cm}^{-3} \times 60 \text{ cm} \times 100 = 11457,60 \text{ kg C ha}^{-1}/1000 = 11,46 \text{ t C ha}^{-1}$
Voćnjak (orasi):
$CS = 1,24 \times 1,54 \text{ g cm}^{-3} \times 60 \text{ cm} \times 100 = 11457,60 \text{ kg C ha}^{-1}/1000 = 11,46 \text{ t C ha}^{-1}$
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 46 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 46. 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

Rezultati istraživanja		
	2019.	11,46
	2020.	11,46
	2021.	9,61
	2022.	10,53

KONTROLA:

$$SU = SU_{2018} - SU_{2017} = 8,41 - 8,50 = -0,09 \text{ t C ha}^{-1}$$

$$SU = SU_{2019} - SU_{2018} = 8,69 - 8,41 = 0,28 \text{ t C ha}^{-1}$$

$$SU = SU_{2020} - SU_{2019} = 8,22 - 8,69 = -0,47 \text{ t C ha}^{-1}$$

$$SU = SU_{2021} - SU_{2020} = 8,13 - 8,22 = -0,09 \text{ t C ha}^{-1}$$

$$SU = SU_{2022} - SU_{2021} = 8,59 - 8,13 = 0,46 \text{ t C ha}^{-1}$$

$$SU = SU_{2022} - SU_{2017} = 8,59 - 8,50 = 0,09 \text{ t C ha}^{-1}$$

KONSOCIJACIJA:

$$SU = SU_{2019} - SU_{2018} = 11,18 - 8,32 = 2,86 \text{ t C ha}^{-1}$$

$$SU = SU_{2020} - SU_{2019} = 11,46 - 11,18 = 0,28 \text{ t C ha}^{-1}$$

$$SU = SU_{2021} - SU_{2020} = 8,96 - 11,46 = -2,5 \text{ t C ha}^{-1}$$

$$SU = SU_{2022} - SU_{2021} = 9,15 - 8,96 = 0,19 \text{ t C ha}^{-1}$$

$$SU = SU_{2022} - SU_{2017} = 9,15 - 8,32 = 0,83 \text{ t C ha}^{-1}$$

VOĆNJAK (ORASI)

$$SU = SU_{2018} - SU_{2017} = 8,50 - 8,13 = 0,37 \text{ t C ha}^{-1}$$

$$SU = SU_{2019} - SU_{2018} = 11,46 - 8,50 = 2,96 \text{ t C ha}^{-1}$$

$$SU = SU_{2020} - SU_{2019} = 11,46 - 11,46 = 0 \text{ t C ha}^{-1}$$

$$SU = SU_{2021} - SU_{2020} = 9,61 - 11,46 = -1,85 \text{ t C ha}^{-1}$$

$$SU = SU_{2022} - SU_{2021} = 10,53 - 9,61 = 0,92 \text{ t C ha}^{-1}$$

$$SU = SU_{2022} - SU_{2017} = 10,53 - 8,13 = 2,4 \text{ t C ha}^{-1}$$

Analiza podataka o sekvestraciji ugljika (SU) na lokalitetu Đakovo tijekom petogodišnjeg razdoblja (2017.–2022.) za tri različita uzgojna sustava – kontrolu, konsocijaciju i voćnjak (orasi) – pruža uvid u dinamiku nakupljanja 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. ($-0,09 \text{ t C ha}^{-1}$), što upućuje na

gubitak ugljika iz tla, dok su pozitivne vrijednosti u 2019. ($0,28 \text{ t C ha}^{-1}$) i 2022. ($0,46 \text{ t C ha}^{-1}$) ukazivale na određenu razinu pohranjivanja 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. ($0,19 \text{ t C ha}^{-1}$). Međutim, 2021. donosi gubitak ugljika od $-2,5 \text{ t C ha}^{-1}$, što upućuje na moguće negativne vanjske utjecaje poput vremenskih neprilika. Unatoč oscilacijama, ukupni dobitak u ovom sustavu tijekom pet godina iznosi $0,83 \text{ t C ha}^{-1}$, što ga čini efikasnijim od kontrole u pogledu zadržavanja i povećanja zaliha ugljika u tlu. Voćnjak s orasima, kao trajniji uzgojni sustav sa stalnom vegetacijom i manjim narušavanjem tla, pokazuje najsnažniji kapacitet sekvestracije ugljika. Tijekom 2018. ($0,37 \text{ t C ha}^{-1}$), 2019. ($2,96 \text{ t C ha}^{-1}$) i 2022. ($0,92 \text{ t C ha}^{-1}$) bilježene su kontinuirane pozitivne vrijednosti, uz stagnaciju u 2020. (0 t C ha^{-1}) i pad u 2021. ($-1,85 \text{ t C ha}^{-1}$). Ukupan saldo u razdoblju od 2017. do 2022. iznosi $2,4 \text{ t C ha}^{-1}$, što je najveće povećanje sekvestriranog ugljika među sva tri sustava. Zaključno, tijekom pet godina istraživanja, voćnjak (orasi) pokazuje najveći potencijal za sekvestraciju ugljika, što ga čini ekološki najpovoljnijim sustavom za očuvanje tla i ublažavanje klimatskih promjena. Sustav konsocijacije također pokazuje pozitivan učinak, iako s izraženijim godišnjim varijacijama. Nasuprot tome, kontrolni sustav ima 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 koje su se provodile u jednoj godini na eksperimentalnoj lokaciji u Đakovu. Godišnja potrošnja dizela za navedene aktivnosti iznosila je prosječno 72 litre po hektaru. S obzirom na ukupnu površinu pokusnog polja u Đakovu (3,75 ha), izračunata je godišnje potrošnja od ukupno 270 litara dizela za provedbu svih potrebnih agrotehničkih mjera. Budući da istraživanje traje pet godina, ukupna potrošnja dizela tijekom cijelog trajanja eksperimenta iznosila je 1350 litara dizela. Godišnja potrošnja u litrama preračunata je u metre kubne, što je uobičajena mjera za daljnje izračune emisije CO₂, te je iznosila $1,35 \text{ m}^3$ 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 1,35 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 omogućuje 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 izražavaju se kao neto energetska vrijednost goriva utrošenog u određenom vremenskom razdoblju. Neto kalorijska vrijednost goriva propisana je u Pravilniku o registru onečišćavanja okoliša (NN 8/2013). Podaci o aktivnosti izračunava se primjenom sljedeće formule:

$$\text{Energetski sadržaj utroška goriva [TJ]} = \text{potrošeno gorivo [Nm}^3\text{]} * \text{neto kalorična vrijednost goriva [TJ/Nm}^3\text{]} = 1,35 \text{ Nm}^3 \times 43,0 = 58,50 \text{ t CO}_2/\text{Nm}^3$$

Nakon dobivene vrijednosti „podaci o djelatnosti“ svi preostali podaci se uvrštavaju u gore navedenu formulu kako bi se dobile emisije CO₂:

$$\text{Emisije CO}_2 = 58,50 \text{ t CO}_2/\text{Nm}^3 * 74,0 \text{ t CO}_2/\text{TJ} * 1,0 = 4329$$

3.6.3. Pregled sekvestracije ugljika te emisija CO₂ na lokalitetu Ivanka

Sekvestracija ugljika u tlu praćena je tijekom petogodišnjeg 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 47 prikazuje rezultate mjerenja sadržaja organske tvari i organskog ugljika u tlu na lokalitetu Ivanka za 2018. godinu, i to na dubinama od 0–30 cm i 30–60 cm, kroz tri

različita tipa korištenja zemljišta: kontrola, konsocijacija i voćnjak (orasi). U svim kategorijama uočava se očekivani pad sadržaja organske tvari i ugljika s povećanjem dubine tla. Najniže vrijednosti zabilježene su u kontrolnom uzorku, dok su više vrijednosti prisutne u tlu pod konsocijacijom i voćnjakom. Na dubini od 0–30 cm, sadržaj organske tvari kreće se od 1,70% (kontrola) do 1,83% (konsocijacija i voćnjak), dok sadržaj organskog ugljika iznosi od 0,99% do 1,06%. Ukupno za obje dubine, najviši prosječni sadržaj zabilježen je kod konsocijacije i voćnjaka (1,62% organske tvari i 0,94% organskog ugljika).

Tablica 47. Prikaz stanja humusa 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
Ukupno kontrola			0-30	1,70	0,99
			30-60	1,19	0,69
			Ukupno za obje dubine	1,45	0,84
9	5	Konsocijacija	0-30	1,55	0,90
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

Rezultati istraživanja					
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
Ukupno konsocijacija			0-30	1,83	1,06
			30-60	1,42	0,82
			Ukupno 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
39	20	Voćnjak (orasi)	0-30	1,83	1,06
40			30-60	1,41	0,82
Ukupno voćnjak (orasi)			0-30	1,83	1,06
			30-60	1,41	0,82
			Ukupno 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 48 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). Uočava se jasan trend povećanja sadržaja organske tvari i organskog ugljika u odnosu na prethodnu godinu, osobito u zemljištima pod konsocijacijom i voćnjakom, gdje su zabilježene i najviše vrijednosti. Na dubini od 0–30 cm, sadržaj organske tvari kreće se od 1,67% (kontrola) do 2,41% (voćnjak), dok sadržaj organskog ugljika iznosi 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), što ukazuje na pozitivan utjecaj vegetacije i obrade tla na akumulaciju organske tvari.

Tablica 48. Prikaz stanja humusa 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
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

Rezultati istraživanja					
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
Ukupno kontrola			0-30	1,67	0,97
			30-60	1,56	0,91
			Ukupno 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
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
Ukupno konsocijacija			0-30	2,25	1,31

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

Drugo mjerenje sadržaja organske tvari i organskog ugljika provedeno 2019. Godine, prikazano u Tablici 49, 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 nešto niže – 1,59% organske tvari i 0,92% ugljika. Ukupno za obje dubine, kontrola pokazuje prosječne vrijednosti od 1,75% organske tvari i 0,99% ugljika, što je najviši rezultat među promatranim sustavima. U sustavu konsocijacije bilježe se najniže vrijednosti: u sloju 0–30 cm sadržaj organske tvari iznosi 1,53%, a ugljika 0,89%, dok su u sloju 30–60 cm te vrijednosti još niže – 1,40% i 0,81%. Ukupno gledano, za obje dubine prosječne vrijednosti iznose 1,47% za organsku tvar i 0,85% za organski ugljik. Ovi podaci

sugeriraju da sustav još nije u potpunosti ostvario svoj potencijal u pogledu poboljšanja sadržaja organske tvari, vjerojatno zbog kraćeg vremena provođenja mjera. U slučaju voćnjaka (oraha), vrijednosti su između prethodna dva sustava. U sloju 0–30 cm sadržaj organske tvari iznosi 1,72%, a organskog ugljika 1,00%, dok su u sloju 30–60 cm te vrijednosti 1,53% i 0,89%. Ukupno za obje dubine, prosječne vrijednosti su 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 pokazuje različite trendove promjena unutar tri uzgojna sustava – kontrolnog, konsocijacijskog i voćnjaka (orasi). Analiza se temelji 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 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 porasla s 1,45% na 1,75%.

Sličan uzlazni trend vidljiv je 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%, što ukazuje na poboljšanje kvalitete tla i veću akumulaciju organskog materijala.

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%, što upućuje na privremeno pogoršanje stanja tla, moguće zbog vremenskih prilika ili tehnoloških čimbenika. U voćnjaku (orasi) zabilježena je stabilnost ukupnog sadržaja organske tvari (1,62%) i organskog ugljika (0,94%) za 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%). Ovakva raspodjela ukazuje na relativnu ravnotežu u sustavu voćnjaka, s mogućim pomakom organskog materijala prema dubljim slojevima tla.

Tablica 49. Prikaz stanja humusa i organskog ugljika na različitim dubinama na lokalitetu Ivankovo, 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
Ukupno kontrola			0-30	1,91	1,05
			30-60	1,59	0,92
			Ukupno 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
22			30-60	1,34	0,78
23	12	Konsocijacija	0-30	1,59	0,92
24			30-60	1,55	0,90
Ukupno konsocijacija			0-30	1,53	0,89

			30-60	1,40	0,81
			Ukupno za obje dubine	1,47	0,85
25	13	Voćnjak	0-30	1,59	0,92
26		(orasi)	30-60	1,31	0,76
27	14	Voćnjak	0-30	1,76	1,02
28		(orasi)	30-60	1,52	0,88
29	15	Voćnjak	0-30	1,69	0,98
30		(orasi)	30-60	1,62	0,94
31	16	Voćnjak	0-30	1,83	1,06
32		(orasi)	30-60	1,66	0,97
Ukupno voćnjak (orasi)			0-30	1,72	1,00
			30-60	1,53	0,89
			Ukupno 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 (prikazano u Tablici 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). Dobiveni rezultati pružaju uvid u razlike u kvaliteti tla između uzgojnih sustava te potencijal svakog od njih za očuvanje i akumulaciju organske tvari i ugljika. U kontrolnom sustavu, zabilježene su najviše vrijednosti u oba sloja i ukupno. U sloju 0–30 cm sadržaj organske tvari iznosi 2,54%, a organskog ugljika 1,48%, dok su u sloju 30–60 cm ti pokazatelji vrlo slični: 2,57% za organsku tvar i 1,49% za ugljik. Ukupno za obje dubine, prosječne vrijednosti iznose 2,56% za organsku tvar i 1,49% za organski ugljik. U sustavu konsocijacije, koji uključuje kombinaciju različitih biljnih kultura (npr. glavni usjev s pokrovnim usjevima), sadržaj organske tvari i ugljika 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 1,81%, a ugljika 1,05%. Ukupno gledano za obje dubine, vrijednosti iznose 2,00% za organsku tvar i 1,16% za organski ugljik. U voćnjaku (orasi), koji se temelji na trajnoj vegetaciji, sadržaj organske tvari u sloju 0–30 cm iznosi 2,00%, a organskog ugljika 1,16%, dok su u sloju 30–60 cm ti pokazatelji niži – 1,55% i 0,90%. Ukupno za obje dubine, prosječne vrijednosti iznose 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 Ivankovo otkriva različite promjene među trima uzgojnim sustavima – kontrolom, konsocijacijom i voćnjakom (orasi). Analiza uključuje dva sloja tla (0–30 cm i 30–60 cm) te ukupnu prosječnu vrijednost za obje dubine. 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 uzlazni trend: u sloju 0–30 cm porast s 0,97% na 1,48%, a u dubljem sloju s 0,91% na 1,49%, što daje ukupno povećanje s 0,94% na 1,49%. Ovi rezultati ukazuju na znatno poboljšanje kvalitete tla u kontrolnoj varijanti u odnosu na prethodnu godinu, što može biti posljedica smanjene mineralizacije ili povećanog unosa organske mase. 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%. Iako su razlike relativno male, ukazuju na blago smanjenje akumulacije organske tvari, moguće zbog klimatskih uvjeta, rotacije usjeva ili promjena u agrotehničkim praksama. U voćnjaku s orasima, 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%. Ovi podaci ukazuju na osjetno smanjenje sadržaja organskog materijala u voćnjaku u toj godini, što može biti posljedica smanjenog doprinosa biljne mase, suše ili drugih nepovoljnih faktora koji su utjecali na mikrobiološku aktivnost i dinamiku ugljika u tlu.

Tablica 50. Prikaz stanja humusa i organskog ugljika na različitim dubinama na lokalitetu Ivankovo, 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
8			30-60	2,90	1,69
Ukupno kontrola			0-30	2,54	1,48
			30-60	2,57	1,49
			Ukupno 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
Ukupno konsocijacija			0-30	2,18	1,27

Rezultati istraživanja					
			30-60	1,81	1,05
			Ukupno 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
33	17	Voćnjak (orasi)	0-30	2,24	1,30
34			30-60	1,69	0,98
35	18	Voćnjak (orasi)	0-30	1,97	1,15
36			30-60	1,21	0,70
37	19	Voćnjak (orasi)	0-30	1,69	0,98
38			30-60	1,62	0,94
39	20	Voćnjak (orasi)	0-30	2,07	1,20
40			30-60	1,59	0,92
Ukupno voćnjak (orasi)			0-30	2,00	1,16
			30-60	1,55	0,90
			Ukupno za obje dubine	1,77	1,03

3.6.3.4. Uzorkovanja tla u 2021. godini

Na lokalitetu u Ivankovu tijekom 2021. godine tlo je uzorkovano četiri puta, kako bi se pratila sezonska varijabilnost u sadržaju organskog ugljika i drugih relevantnih svojstava tla.

Na lokalitetu Ivankovo tijekom 2021. godine provedeno su četiri uzorkovanja tla s ciljem procjene sadržaja organske tvari i organskog ugljika u različitim uzgojnim sustavima. Tablica 51 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 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, što je očekivano s obzirom na to da se organska tvar uglavnom akumulira u površinskim horizontima tla. Najniži sadržaj organske tvari i ugljika u ovom sloju ima konsocijacija (1,30% i 0,75%). Ukupno za obje dubine, sadržaj organske tvari i ugljika najviši je 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 51. Prikaz stanja humusa 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
Ukupno kontrola			0-30	1,87	1,09
			30-60	1,38	0,80
			Ukupno 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

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

Tablica 52 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 zabilježen je u voćnjaku (1,82%), zatim slijedi kontrola (1,78%), dok konsocijacija ima nešto nižu vrijednost (1,72%). Kada je riječ o organskom ugljiku u istom sloju, vrijednosti su vrlo slične – najviša je kod kontrole (1,03%), dok su voćnjak i konsocijacija na razini od 1,00%. U dubljem sloju (30–60 cm) uočava se pad sadržaja, što je u skladu s očekivanjima. Najvišu vrijednost u ovom sloju ima kontrola (1,57% organske tvari i 0,91% organskog ugljika), dok su konsocijacija i voćnjak izjednačeni s 1,33% organske tvari i 0,77% ugljika. Ukupno za obje dubine, kontrolna površina pokazuje najviše vrijednosti (1,67% organske tvari i 0,97% ugljika), dok voćnjak i konsocijacija imaju nešto niže vrijednosti – 1,57% i 1,52% za organsku tvar, te 0,89% i 0,88% za organski ugljik.

Tablica 52. Prikaz stanja humusa i organskog ugljika na različitim dubinama na lokalitetu Ivankovo, 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
Ukupno kontrola			0-30	1,78	1,03
			30-60	1,57	0,91
			Ukupno 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

Rezultati istraživanja					
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
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
Ukupno konsocijacija			0-30	1,72	1,00
			30-60	1,33	0,77
			Ukupno 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
Ukupno voćnjak (orasi)			0-30	1,82	1,00
			30-60	1,33	0,77
			Ukupno za obje dubine	1,57	0,89

Tablica 53 prikazuje rezultate trećeg mjerenja organske tvari i organskog ugljika u tlu na lokalitetu Ivankovo tijekom 2021. godine. U površinskom sloju (0–30 cm) najviši sadržaj organske tvari zabilježen je u voćnjaku (1,77%), a slijedi konsocijacija (1,66%) te kontrola (1,51%). Sličan redoslijed vrijedi i za sadržaj organskog ugljika – voćnjak ima najvišu vrijednost (1,03%), zatim konsocijacija (0,97%) i kontrola (0,88%). U dubljem sloju (30–60 cm), voćnjak i dalje ima najviši sadržaj organske tvari (1,65%) i ugljika (0,96%). Slijedi konsocijacija s 1,44% organske tvari i 0,84% ugljika, dok kontrola ima najniže vrijednosti (1,41% i 0,82%). Kada se promatra prosjek za obje dubine, voćnjak ima najveći ukupni sadržaj organske tvari (1,71%) i organskog ugljika (1,00%), što ukazuje na njegov pozitivan utjecaj na očuvanje i obogaćivanje tla organskom tvari. Konsocijacija zauzima srednju poziciju (1,55% i 0,90%), dok kontrola pokazuje najniže ukupne vrijednosti (1,46% i 0,85%).

Tablica 53. Prikaz stanja humusa i organskog ugljika na različitim dubinama na lokalitetu Ivankovo, 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
Ukupno kontrola			0-30	1,51	0,88
			30-60	1,41	0,82
			Ukupno 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
13	7	Konsocijacija	0-30	1,72	1,00
14			30-60	1,59	0,92

Rezultati istraživanja					
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
Ukupno konsocijacija			0-30	1,66	0,97
			30-60	1,44	0,84
			Ukupno 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
Ukupno voćnjak (orasi)			0-30	1,77	1,03
			30-60	1,65	0,96
			Ukupno za obje dubine	1,71	1,00

Tablica 54 prikazuje rezultate četvrtog mjerenja organske tvari i organskog ugljika u tlu na lokalitetu Ivankaovo tijekom 2021. godine. U površinskom sloju (0–30 cm), najviši sadržaj organske tvari i ugljika ponovno bilježi voćnjak, s vrijednostima od 1,88% organske tvari i 1,09% organskog ugljika, što ukazuje na visok doprinos organske mase. Slijedi konsocijacija s 1,70% i 0,99%, dok je kontrola na najnižoj razini – 1,56% i 0,91%. U dubljem sloju (30–60 cm) trend se ponavlja, iako su razlike nešto manje izražene. Voćnjak zadržava vodstvo s 1,56% organske tvari i 0,91% ugljika, a kontrola i konsocijacija bilježe slične vrijednosti (kontrola: 1,49% i 0,87%, konsocijacija: 1,44% i 0,83%). Ukupno za obje dubine, voćnjak i dalje pokazuje najpovoljnije vrijednosti s prosječno 1,72% organske tvari i 1,00% organskog ugljika, što potvrđuje njegov pozitivan učinak na plodnost tla. Konsocijacija se nalazi u sredini (1,57% i 0,91%), dok je kontrola na najnižim razinama (1,53% i 0,89%).

Usporedbom rezultata mjerenja organske tvari i organskog ugljika u tlu između 2020. i 2021. godine na lokalitetu Ivankaovo, uočava se pad 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%, što ukazuje na znatan gubitak organske mase u tlu. Slično se bilježi i kod konsocijacije, gdje je sadržaj organske tvari smanjen s 2,00% na 1,57%, a organskog ugljika s 1,16% na 0,91%. U voćnjaku s orahom, iako je pad nešto manji, također je prisutan – ukupna organska tvar pala je s 1,77% na 1,72%, dok je organski ugljik smanjen s 1,03% na 1,00%. Posebno je značajno primijetiti da je kod kontrolne površine u 2020. sadržaj organske tvari bio najveći među sve tri kategorije, dok je u 2021. najniže vrijednosti bilježila upravo kontrola. Između 2020. i 2021. godine na svim promatranim površinama došlo je do smanjenja organske tvari i organskog ugljika u tlu, što bi moglo biti rezultat nepovoljnih klimatskih uvjeta, smanjenog unosa organske mase ili drugih faktora degradacije tla, te ukazuje na potrebu za trajnim mjerama očuvanja plodnosti tla.

Tablica 54. Prikaz stanja humusa 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
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
Ukupno kontrola			0-30	1,56	0,91
			30-60	1,49	0,87
			Ukupno 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
Ukupno konsocijacija			0-30	1,70	0,99

			Rezultati istraživanja		
			30-60	1,44	0,83
			Ukupno 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	Voćnjak (orasi)	0-30	1,97	1,15
30			30-60	1,83	1,06
31	16	Voćnjak (orasi)	0-30	1,83	1,06
32			30-60	1,41	0,82
33	17	Voćnjak (orasi)	0-30	2,31	1,34
34			30-60	1,66	0,97
35	18	Voćnjak (orasi)	0-30	1,83	1,06
36			30-60	1,41	0,82
37	19	Voćnjak (orasi)	0-30	1,79	1,04
38			30-60	1,72	1,00
39	20	Voćnjak (orasi)	0-30	1,62	0,94
40			30-60	1,41	0,82
Ukupno voćnjak (orasi)			0-30	1,88	1,09
			30-60	1,56	0,91
			Ukupno 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 55 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) iznosi 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 vrijednosti iznose 1,06% u površinskom sloju, 0,97% u dubljem sloju i ukupno 1,02%.

Na parceli s konsocijacijom, odnosno kombiniranim usjevima, vrijednosti su nešto više: organska tvar iznosi 1,97% (0–30 cm), 1,80% (30–60 cm) i 1,89% ukupno. Organski ugljik

na istoj površini iznosi 1,12%, 1,05% i ukupno 1,08%, što ukazuje na blagi porast u odnosu na kontrolu, što se može povezati s utjecajem aktivnog biljnog pokrova i boljim upravljanjem zemljištem. Najveće vrijednosti zabilježene su na površini pod voćnjakom (orasima), gdje je sadržaj organske tvari u površinskom sloju 2,31%, dok je u dubljem sloju 1,72%, a ukupno 2,02%. Organski ugljik iznosi 1,35%, 1,01% i ukupno 1,18%, što potvrđuje da je voćnjak najbogatiji organskom tvari među promatranim površinama. Ovo može biti posljedica redovitog doprinosa organskog materijala kroz otpad lišća i druge organske ostatke, kao i manjeg ometanja tla u odnosu na obradive površine.

Tablica 55. Prikaz stanja humusa 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
Ukupno kontrola			0-30	1,82	1,06
			30-60	1,67	0,97
			Ukupno 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

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

Tablica 56 prikazuje sadržaj organske tvari i organskog ugljika tla na lokalitetu Ivankovo, a uzorci su prikupljeni tokom 2022. godine. Na kontrolnoj površini, sadržaj organske tvari iznosi 1,74% u površinskom sloju te 1,78% u dubljem sloju, s prosječnom vrijednosti za obje dubine od 1,76%. Sličan obrazac slijedi i organski ugljik, čije vrijednosti iznose 1,01%, 1,04% te ukupno 1,02%. Na tlu pod konsocijacijom, gdje su zasađene kombinacije kultura, bilježi se 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 iznose 1,14%, 1,05% i ukupno 1,10%. Ovi rezultati ukazuju na pozitivan utjecaj uzgoja više kultura na održavanje i obogaćivanje sadržaja organske tvari u tlu. Najviši sadržaj organske tvari i organskog ugljika zabilježen je u tlu pod voćnjakom s orahom. 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

tvori 2,06%, a ugljika 1,20%, s ukupnim prosjekom od 2,12% za organsku tvar i 1,20% za organski ugljik. Ovi rezultati potvrđuju da dugotrajan biljni pokrov, poput drvenastih kultura, značajno doprinosi većem zadržavanju organske tvari i ugljika u tlu.

Tablica 56. Prikaz stanja humusa 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
Ukupno kontrola			0-30	1,74	1,01
			30-60	1,78	1,04
			Ukupno 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

Rezultati istraživanja					
23	12	Konsocijacija	0-30	2,20	1,32
24			30-60	1,62	0,94
Ukupno konsocijacija			0-30	2,00	1,14
			30-60	1,81	1,05
			Ukupno 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
Ukupno voćnjak (orasi)			0-30	2,18	1,21
			30-60	2,06	1,20
			Ukupno za obje dubine	2,12	1,20

Tablica 57 prikazuje rezultate trećeg mjerenja organske tvari i organskog ugljika provedenog 2022. godine na lokalitetu Ivankaovo. Na kontrolnom dijelu, koji nije bio pod utjecajem posebnih agrotehničkih zahvata, 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 iznose 0,97%, 0,80% i ukupno 0,88%, što ukazuje na umjereno nizak sadržaj organske komponente u tlu koje nije dodatno obrađivano ili obogaćivano. U konsocijaciji vidljiv je porast u svim vrijednostima. Organska tvar u gornjem sloju iznosi 2,16%, dok u dubljem sloju iznosi 1,79%, s ukupnim prosjekom 1,98%. Organski ugljik bilježi 1,26%, 1,04% i prosječnih 1,15%. Ovi rezultati ukazuju na povoljan učinak konsocijacije na povećanje sadržaja organske tvari i stabilizaciju ugljika u tlu. Najveće vrijednosti zabilježene su u voćnjaku s orasima. U sloju 0–30 cm izmjeren je sadržaj organske tvari od 2,31%, a u sloju 30–60 cm 1,91%, dok ukupno iznosi 2,11%. Slično je i s organskim ugljikom: 1,35%, 1,11%, ukupno 1,23%. Ove visoke vrijednosti potvrđuju da voćnjak, kao trajni biljni sustav, značajno doprinosi akumulaciji organske tvari i ugljika u tlu. Usporedba podataka između prvog uzorkovanja 2021. godine i trećeg uzorkovanja 2022. godine na lokalitetu Ivankaovo pokazuje značajne promjene u sadržaju organske tvari i organskog ugljika u tlu kroz sve tri

varijante korištenja zemljišta: kontrolu, konsocijaciju i voćnjak (orasi). U kontrolnom uzorku, gdje nije bilo dodatnih agrotehničkih zahvata, 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%, što ukazuje na blagi pad organske komponente u tlu u kontrolnim uvjetima. S druge strane, kod tla pod konsocijacijom, 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%, što ukazuje na pozitivan učinak konsocijacije, vjerojatno zbog povećanog unosa biljne mase i poboljšanja strukture tla. U voćnjaku (orasi) 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 57. Prikaz stanja humusa 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
Ukupno kontrola			0-30	1,67	0,97
			30-60	1,37	0,80
			Ukupno 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

Rezultati istraživanja					
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
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
Ukupno konsocijacija			0-30	2,16	1,26
			30-60	1,79	1,04
			Ukupno 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
Ukupno voćnjak (orasi)			0-30	2,31	1,35
			30-60	1,91	1,11
			Ukupno za obje dubine	2,11	1,23

3.6.3.6. Zalihe i sekvestracija ugljika u tlu na lokalitetu Ivankovo

U tablicama 58 i 59 prikazani su izračuni zaliha ugljika u tlu te njihov ukupan pregled po uzgojnim sustavima na lokalitetu Ivankovo za razdoblje od 2017. do 2022. godine. Tablica 58 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 58. Pregled izračuna zaliha ugljika na lokalitetu Ivanka 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 59 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 59. 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

KONTROLA:

$$SU = SU_{2018} - SU_{2017} = 7,76 \text{ t C ha}^{-1} - 8,50 \text{ t C ha}^{-1} = -0,74 \text{ t C ha}^{-1}$$

$$SU = SU_{2019} - SU_{2018} = 9,15 \text{ t C ha}^{-1} - 7,76 \text{ t C ha}^{-1} = 1,39 \text{ t C ha}^{-1}$$

$$SU = SU_{2020} - SU_{2019} = 13,77 \text{ t C ha}^{-1} - 9,15 \text{ t C ha}^{-1} = 4,62 \text{ t C ha}^{-1}$$

$$SU = SU_{2021} - SU_{2020} = 8,22 \text{ t C ha}^{-1} - 13,77 \text{ t C ha}^{-1} = -5,55 \text{ t C ha}^{-1}$$

$$SU = SU_{2022} - SU_{2021} = 8,13 \text{ t C ha}^{-1} - 8,22 \text{ t C ha}^{-1} = -0,09 \text{ t C ha}^{-1}$$

$$SU = SU_{2022} - SU_{2017} = 8,13 \text{ t C ha}^{-1} - 8,50 \text{ t C ha}^{-1} = -0,37 \text{ t C ha}^{-1}$$

KONSOCIJACIJA:

$$SU = SU_{2019} - SU_{2018} = 7,85 \text{ t C ha}^{-1} - 8,69 \text{ t C ha}^{-1} = -0,84 \text{ t C ha}^{-1}$$

$$SU = SU_{2020} - SU_{2019} = 10,72 \text{ t C ha}^{-1} - 7,85 \text{ t C ha}^{-1} = 2,87 \text{ t C ha}^{-1}$$

$$SU = SU_{2021} - SU_{2020} = 8,41 \text{ t C ha}^{-1} - 10,72 \text{ t C ha}^{-1} = -2,31$$

$$SU = SU_{2022} - SU_{2021} = 10,63 \text{ t C ha}^{-1} - 8,41 \text{ t C ha}^{-1} = 2,22 \text{ t C ha}^{-1}$$

$$SU = SU_{2022} - SU_{2017} = 10,63 \text{ t C ha}^{-1} - 8,69 \text{ t C ha}^{-1} = 1,94 \text{ t C ha}^{-1}$$

VOĆNJAK (ORASI)

$$SU = SU_{2018} - SU_{2017} = 8,69 \text{ t C ha}^{-1} - 8,13 \text{ t C ha}^{-1} = 0,56 \text{ t C ha}^{-1}$$

$$SU = SU_{2019} - SU_{2018} = 8,69 \text{ t C ha}^{-1} - 8,69 \text{ t C ha}^{-1} = 0 \text{ t C ha}^{-1}$$

$$SU = SU_{2020} - SU_{2019} = 9,52 \text{ t C ha}^{-1} - 8,69 \text{ t C ha}^{-1} = 0,83 \text{ t C ha}^{-1}$$

$$SU = SU_{2021} - SU_{2020} = 9,24 \text{ t C ha}^{-1} - 9,52 \text{ t C ha}^{-1} = -0,28 \text{ t C ha}^{-1}$$

$$SU = SU_{2022} - SU_{2021} = 11,37 \text{ t C ha}^{-1} - 9,24 \text{ t C ha}^{-1} = 2,13 \text{ t C ha}^{-1}$$

$$SU = SU_{2022} - SU_{2017} = 11,37 \text{ t C ha}^{-1} - 8,13 \text{ t C ha}^{-1} = 3,24 \text{ t C ha}^{-1}$$

Usporedba promjena sadržaja organskoga ugljika u tlu tijekom petogodišnjeg razdoblja u različitim uzgojnim sustavima – kontrola, konsocijacija i voćnjak (orasi) – pokazuje raznolike 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.), ali i izraženim gubicima (npr. -5,55 t C ha⁻¹ između 2020. i 2021.), 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. od -2,31 t C ha⁻¹), ukupna bilanca je pozitivna. Najstabilniji i najuspješniji u pogledu sekvestracije bio je sustav

voćnjaka s orahom, 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 eksperimentalnoj lokaciji u Ivankovu. 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), izračunata je godišnje 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 eksperimenta 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 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 139 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 omogućuje 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.

*Emisije CO₂ = Podaci o djelatnosti * Emisijski faktor * Oksidacijski faktor*

Podaci o aktivnosti izražavaju se 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 izračunava se primjenom sljedeće formule:

*Energetski sadržaj utroška goriva [TJ] = potrošeno gorivo [Nm³] * neto kalorična vrijednost goriva [TJ/Nm³] = 139 Nm³ x 43,0 = 5977 t CO₂/Nm³*

Nakon dobivene vrijednosti „podaci o djelatnosti“ svi preostali podaci se uvrštavaju u gore navedenu formulu kako bi se dobile emisije CO₂:

$$\text{Emisije CO}_2 = 5977 \text{ t CO}_2/\text{Nm}^3 * 74,0 \text{ t CO}_2/\text{TJ} * 1,0 = \mathbf{442298}$$

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 humusa 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. Iako su zabilježene i nešto veće vrijednosti, one su zastupljene u manjem. 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 humusa, 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 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 dostupnost 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 teksturnim 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 teksturnih 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 struktura pogoduje poljoprivrednoj proizvodnji jer omogućuje dobru prozračnost tla, kapacitet zadržavanja vode te povoljne uvjete za razvoj korijenovog sustava biljaka. Na lokalitetu Đakovo, tlo je izraženo stratificirano kroz tri dubinska sloja. Površinski

sloj ima izrazito povoljne karakteristike 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. 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 je tekstura na obje lokacije klasificirana kao srednje teška, 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 humusa u tlu

Usporedbom dvije metode određivanja humusa u tlu utvrdila se podudarnost i međusobna usklađenost dobivenih rezultata. Rezultati provedenih analiza na lokalitetu Đakovo ukazuju na postojanje varijacija u procjeni sadržaja humusa ovisno o primijenjenoj analitičkoj metodi. Uzorci tla svrstani su u tri kategorije ovisno o količini organske tvari, u kategoriji tla s nižim udjelom humusa, metode pokazuju generalno podudaranje, iako su primijećena manja odstupanja u pojedinačnim uzorcima. U srednjoj kategoriji, razlike među metodama postaju

izraženije, pri čemu se uočava tendencija da jedna metoda sistematski daje više rezultate. Ova razlika nije uvijek konzistentna, ali ukazuje na moguće razlike u osjetljivosti metoda ili njihovoj prilagođenosti različitim fizikalno-kemijskim karakteristikama tla. Kod uzoraka s višim udjelom humusa, odstupanja među rezultatima dviju metoda postaju najočitija. Primjećuje se da jedna metoda u većini slučajeva registrira više vrijednosti, dok druga daje konzervativniju procjenu sadržaja organske tvari. Ovakve razlike mogu se pripisati različitim principima na kojima se temelje metode.

Na lokalitetu Ivankaovo provedena je analiza tla u jednakom kategorizacijskom okviru kao i na prethodnoj lokaciji. Rezultati su pokazali dosljedniji uzorak u kojem jedna metoda redovito bilježi više vrijednosti u odnosu na drugu. Ova razlika posebno je izražena u skupini uzoraka s nižim udjelom humusa, što može ukazivati na veću osjetljivost metode na prisutnost lako razgradivih oblika organske tvari. Kod ostalih dviju kategorija, iako razlike među metodama i dalje postoje, one su manje izražene.

4.4. Modeli usporedbe metoda za određivanje humusa u tlu

U ovom istraživanju razvijena su dva tipa modela: regresijski i model pomoću neuronskih mreža. Tablica 60 prikazuje osnovne karakteristike svakog od njih.

Tablica 60. Usporedba regresijskih modela i neuronskih mreža

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

Prvi razvijeni model bio je linearni regresijski modeli za procjenu sadržaja humusa 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 humusa 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 Ivankaovo,

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 Ivanka) 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 Ivanka pogreška modela se čak i povećala. Ovi rezultati upućuju na to da sadržaj humusa 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 našem istraživanju rezultati upućuju da regresijski modeli značajno variraju među lokacijama. Lokacija Đakovo generalno pokazuje veće koeficijente korelacije, dok je na lokaciji Ivanka 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. Prema Miller (1997.) suvremeni kalkulatori za proračun gnojidbe koriste kao ulazne podatke koriste sve različitosti pojedinih lokacija i vrsta proizvodnje kako bi uskladili potrebe biljke za pojedinim hranivima i ekonomsku isplativost poljoprivredne proizvodnje pa su ponekad preporučene doze gnojiva niže od onih koje sugerira pojedina kemijska metoda, ali još uvijek osiguravaju dostatni prinos i jamče financijsku dobit.

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 našem 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 humusa dominirao je s udjelom od 91,7 %, dok je pHKCl doprinio s 8,3 %. S druge strane, u modelu na lokalitetu Ivankovo udio sadržaja humusa 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 nekih 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 gnojidbe 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 humusa u tlu, supstitucijska kiselost (pHKCl) pruža informacijski visok doprinos, čime se potvrđuje njezina veća analitička vrijednost pri predikciji sadržaja humusa. Razlike u performansama modela moguće je dodatno povezati s kemijskom prirodom analitičkih metoda koje su primijenjene za određivanje sadržaja humusa, 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 prikazuju početno stanje sustava, ukazali su na jasno izražen vertikalni gradijent u sadržaju organske tvari, pri čemu su više koncentracije zabilježene u površinskom sloju u odnosu na dublje horizonte tla, što je u skladu s rezultatima Alaswad i sur. (2017.). Ovaj obrazac dosljedno je prisutan na oba lokaliteta, neovisno o uzgojnom sustavu, što potvrđuje dominantnu ulogu površinskog sloja u akumulaciji organskog materijala. Rezultati su pokazali da tlo pod utjecajem voćarskog uzgoja (orasi) u početnoj fazi ima nešto niže vrijednosti sadržaja humusa i organskog ugljika u usporedbi s kontrolnim površinama, osobito u dubljem sloju. To može ukazivati na određeni početni negativni utjecaj oraha na dinamiku organske tvari.

Analiza rezultata provedenih tijekom višegodišnjeg istraživanja na lokalitetu Đakovo pružila je uvid u dinamiku promjena sadržaja organske tvari i organskog ugljika u tlu pod utjecajem različitih uzgojnih sustava. Rezultati početnog uzorkovanja tla 2017. godine pokazali su da sadržaj organske tvari u gornjem sloju tla premašuje vrijednosti zabilježene u dubljem sloju. Ovakve početne vrijednosti ukazuju na srednje povoljne uvjete tla za daljnje poljoprivredno korištenje. Usporedba prve dvije godine istraživanja pokazala je minimalne promjene u kontrolnom sustavu, što sugerira stabilnost tla ali i relativno kratak period između dva uzorkovanja tla. U voćnjaku je, nasuprot tome, zabilježen pozitivan trend povećanja sadržaja organske tvari, što se može pripisati prisutnosti trajne vegetacije i manjim narušavanjima tla. Sustav konsocijacije formiran je tek nakon prvih mjerenja. S obzirom na rezultate iz treće godine istraživanja, može se zaključiti da su oba proizvodna sustava – konsocijacija i voćnjak – imala značajno povoljniji učinak na zadržavanje i povećanje organskog ugljika u tlu u odnosu na kontrolu što se slaže s zaključcima istraživanja An i sur. (2023.). Sadržaj organske tvari bio je najviši upravo u tim sustavima, dok su najniže vrijednosti i dalje zabilježene na kontroli. Ove razlike posebno dolaze do izražaja u gornjem sloju tla, gdje se najvećim dijelom odvijaju biološki i kemijski procesi relevantni za sekvestraciju ugljika. Tijekom četvrte godine provedeno je više uzorkovanja kroz vegetacijsku sezonu, čime je omogućen detaljniji uvid u sezonske promjene. Uočeno je da su vrijednosti organske tvari i ugljika nešto varirale, što se može povezati s dinamikom biljnog rasta, padalinama i temperaturom tla. Unatoč tim varijacijama, uzgojni sustavi su zadržali prednost u odnosu na kontrolu. U voćnjaku i konsocijacijskom sustavu uočeni su blagi padovi vrijednosti u nekim razdobljima, no ti su padovi bili ograničeni i nisu značajnije narušili ukupnu sliku povoljnijeg statusa tla u tim sustavima. U kasnijim uzorkovanjima, ponovo su potvrđeni bolji rezultati u uzgojnim sustavima u odnosu na kontrolni. Površinski sloj tla u voćnjaku i sustavu konsocijacije kontinuirano je sadržavao višu razinu organske tvari, što ukazuje na veću stopu sekvestracije ugljika u usporedbi s kontrolom. Na temelju višegodišnjih podataka može se zaključiti kako uzgojni sustavi, osobito oni s trajnim biljnim pokrovom, imaju ključnu ulogu u sekvestraciji ugljika. S obzirom na klimatske izazove i potrebu za održivim gospodarenjem prirodnim resursima, rezultati s lokaliteta Đakovo dodatno potvrđuju važnost poljoprivrednih praksi koje promiču zadržavanje ugljika u tlu.

Rezultati s lokaliteta Ivankovo ukazuju na jasnu povezanost dubine tla i koncentracije organske tvari. Površinski slojevi tla dosljedno su pokazivali više vrijednosti u usporedbi s

dubljim slojevima, što se može pripisati većoj prisutnosti biljne mase, korijenskih ostataka i površinske mikrobiološke aktivnosti. Kontrolna površina pokazivala je značajne godišnje fluktuacije, ali i u nekim fazama porast sadržaja organskog ugljika. To se tumači kao rezultat prirodne stabilizacije tla ili smanjene mineralizacije. S druge strane, sustav konsocijacije nije pokazao konzistentan uzlazni trend u pogledu sekvestracije ugljika. Naime, iako su u pojedinim godinama zabilježene povećane vrijednosti, u drugim su razdobljima evidentirana smanjenja, što ukazuje na kompleksnu interakciju agrotehničkih zahvata i okolišnih uvjeta. Posebno se ističe pad vrijednosti u pojedinim sezonama, što može biti posljedica smanjenog doprinosa biljne mase ili nepovoljnih vremenskih prilika.

Dinamika organske tvari kroz godine jasno je reflektirala specifičnosti svake uzgojne prakse. Trajni nasadi poput voćnjaka pokazali su veću otpornost na sezonske varijacije te bolju sposobnost održavanja sadržaja ugljika, dok su promjenjivi sustavi poput kontrole pokazali osjetljivost na razne vanjske čimbenike. Također, promjene u sadržaju organskog ugljika bile su povezane s promjenama u reakciji tla, što dodatno potvrđuje složenu povezanost između fizikalno-kemijskih svojstava tla i biološke aktivnosti u agroekosustavu.

Analiza višegodišnjih podataka s lokaliteta Ivankovo pokazuje da su sustavi konsocijacije i voćnjaka ostvarili pozitivnu bilancu sekvestracije ugljika, dok je kontrolni sustav pokazivao negativnu bilancu. Osim toga, vrijednosti sekvestracije ugljika u Ivankovu bile su značajno više u usporedbi s onima zabilježenima na lokalitetu Đakovo.

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. Povećanje organske tvari i organskog ugljika u tlu primjenom konsocijacijskih sustava

Rezultati istraživanja provedenog na dvama lokalitetima – Ivankovo i Đakovo – jasno su pokazali da konsocijacijski sustavi značajno doprinose povećanju sadržaja organske tvari i organskog ugljika u tlu, čime izravno utječu na poboljšanje njegove plodnosti. Na lokalitetu Ivankovo, došlo je do pozitivnog trenda povećanja organske tvari u odnosu na kontrolu. Dok je u kontrolnoj varijanti zabilježeno smanjenje organske tvari za 0,33%, u parcelama s konsocijacijskim usjevima zabilježeno je povećanje od 0,36% u apsolutnom iznosu. Sličan obrazac utvrđen je i na lokalitetu Đakovo, gdje je povećanje sadržaja organske tvari iznosilo 0,15% u apsolutnim vrijednostima, također u odnosu na kontrolnu varijantu. Ti rezultati upućuju na zaključak da konsocijacijski sustavi ne samo da stabiliziraju tlo, već i aktivno doprinose njegovom obogaćivanju organskim tvarima. Budući da je sadržaj organskog ugljika izravno povezan s razinom humusa, koji ima ključnu ulogu u strukturi tla, zadržavanju vode i hranjiva te u mikrobiološkoj aktivnosti, povećanje ovih parametara predstavlja značajan doprinos dugoročnoj održivosti tla.

2. Sekvestracija ugljika kao odgovor tla na različite uzgojne sustave

Sekvestracija ugljika, odnosno sposobnost tla da pohranjuje ugljik, pokazala se značajno većom u konsocijacijskim sustavima u odnosu na kontrolne varijante. Međutim, zapažen je i izražen utjecaj lokaliteta na stopu sekvestracije. Na lokalitetu Đakovo, stopa sekvestracije na kontroli iznosila je 0,09 t C ha⁻¹, dok je na konsocijaciji iznosila 0,83 t C ha⁻¹. Na lokalitetu Ivankovo rezultati su bili još izraženiji: u kontrolnoj varijanti utvrđena je negativna sekvestracija (odnosno emisija ugljika) od -0,37 t C ha⁻¹, dok je u konsocijacijskom sustavu ta vrijednost iznosila 1,94 t C ha⁻¹. Ovi podaci jasno potvrđuju da konsocijacije mogu djelovati kao snažan mehanizam za pohranu ugljika u tlo, čime doprinose ublažavanju klimatskih promjena.

3. Emisije CO₂ i utjecaj površine i mehanizacije

Konsocijacijski sustavi su pokazali i određeni potencijal u smanjenju emisija CO₂ u atmosferu. Analizom emisija po lokalitetima, uočen je jasan utjecaj ukupne površine te intenziteta mehanizacije. Na manjem lokalitetu Đakovo, ukupne emisije iznosile su 4329 jedinica, dok su na znatno većem lokalitetu Ivanka iznosile 442298 jedinica. Ove razlike dodatno su bile pod utjecajem potrošnje goriva za poljoprivrednu mehanizaciju, što ističe potrebu za optimizacijom tehničkih resursa u održivoj proizvodnji. Važno je naglasiti da, unatoč većim ukupnim emisijama na većem lokalitetu, konsocijacijski sustavi na obje lokacije doprinose smanjenju emisija po jedinici površine u odnosu na kontrolu.

4. Korelacija metoda za određivanje humusa u tlu

Komparativna analiza metoda za određivanje humusa u tlu pokazala je visoku korelaciju između analiziranih metoda. Na lokalitetu Đakovo, koeficijent korelacije iznosio je $r = 0,92$, dok je na lokalitetu Ivanka iznosio $r = 0,82$. Ove vrijednosti upućuju na visoku pouzdanost korištenih metoda i njihovu međusobnu usklađenost, što dodatno potvrđuje valjanost dobivenih rezultata.

5. Regresijski modeli i utjecaj dodatnih parametara

Razvijeni regresijski modeli za predikciju sadržaja humusa pokazali su različitu osjetljivost na lokalitet i ulazne parametre. Na lokalitetu Đakovo, preciznost modela povećana je uvođenjem dopunskih parametara poput pH vrijednosti, dok na lokalitetu Ivanka nije utvrđen statistički značajan utjecaj dodatnih varijabli. Ova razlika ukazuje na važnost lokalno prilagođenih modela koji uzimaju u obzir specifičnosti tla i agroekološke uvjete.

6. Primjena neuronskih mreža za analizu humusa

Neuronske mreže korištene za analizu rezultata metoda određivanja humusa u tlu pokazale su veću preciznost u odnosu na regresijske modele. Na lokalitetu Đakovo utvrđena je visoka korelacija ($r = 0,92$), dok je na lokalitetu Ivanka koeficijent korelacije iznosio $r = 0,82$. Ovi rezultati sugeriraju da primjena naprednih algoritama strojnog učenja može značajno unaprijediti točnost predikcija i omogućiti bržu i pouzdaniju procjenu svojstava tla.

7. Jednostavnost i primjenjivost razvijenih modela

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 humusa – dovoljno je precizna za usporedbu analiza sadržaja humusa različitim metodama koje se upotrebljavaju u analitičkim laboratorijima u državama Europske Unije. Isto tako razvijeni modeli mogu poslužiti za proučavanje utjecaja humusa i raspoloživih elemenata u tlu na preciznost preporuka za gnojidbu.

8. Potreba za validacijom razvijenih modela

Unatoč pozitivnim rezultatima, razvijeni modeli zahtijevaju dodatnu validaciju s pomoću setova podataka sa specifičnih lokaliteta. Budući da svojstva tla znatno variraju ovisno o tipu, klimi, upotrebi i upravljanju, ključno je osigurati da modeli budu primjenjivi na širok spektar uvjeta. To zahtijeva jasno definiranje posebnosti svakog tla i uključivanje lokalno specifičnih varijabli u proces modeliranja.

Smanjenje emisije ugljičnog dioksida (CO₂) putem povećane sekvestracije ugljika prepoznato je kao jedan od ključnih koraka u ublažavanju klimatskih promjena. Pokazalo se da sekvestracija ugljika, odnosno proces pohranjivanja ugljika u tlo i biljni materijal, smanjuje koncentraciju CO₂ u atmosferi te doprinosi smanjenju efekta staklenika, koji ima značajan utjecaj na globalno zagrijavanje. Time je potvrđena mogućnost razvoja održivijih poljoprivrednih praksi koje, osim proizvodnje hrane, istovremeno djeluju i kao mehanizmi zaštite okoliša. 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 da skladišti ugljik, 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. 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>.
3. 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>.
4. 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>.
5. 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>
6. 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>
7. 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>
8. 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>.
9. 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>.
10. 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

11. 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>
12. 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>
13. 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>.
14. 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>
15. 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>.
16. 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>
17. Dollinger, J., Jose, S. (2018.): Agroforestry for soil health. *Agrofor. Syst.*, 92 (2), 213–219. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0223-9>.
18. 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.
19. 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>.
20. 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>
21. Gebre, A.B. (2016.): Potential Effects of Agroforestry Practices on Climate Change Mitigation and adaptation Strategies: A review. *CORE*.
 22. 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>.
 23. Gračanin, M., (1947.): 'Pedologija, II dio – Fiziologija tla.', Poljoprivredni nakladni zavod u Zagrebu, Zagreb.
 24. 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>.
 25. 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>
 26. 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>
 27. 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>.
 28. Hrvatska Agencija Za Poljoprivredu i Hranu (2020.) Tehnološke upute za tumačenje rezultata analiza tla za praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta
 29. 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.
 30. International Organization for Standardization (1998.): Soil quality – Determination of organic carbon by sulfochromic oxidation. 14235:1998.
 31. International Organization for Standardization (2004.): ISO 11277:2004.
 32. International Organization for Standardization (2005.): Soil quality – Determination of pH. ISO 10390:2005.
 33. International Organization for Standardization (2008.): Determination of ammonium by flow analysis and spectrometric determinaton. ISO 11732:2008.
 34. International Organization for Standardization (2014.): Soil quality – Determination of carbonate content – Volumetric method. ISO 10693:2014
 35. Jugoslovensko društvo za proučavanje zemljišta (Beograd, 1966): Priručnik za ispitivanje

- zemljišta, knjiga I, Hemijske metode ispitivanja zemljišta.
36. Kane, D. (2015.): Carbon Sequestration Potential on Agricultural Lands: A Review of Current Science and Available Practices [Online]. Dostupno na <http://sustainableagriculture.net/publications>
 37. 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>
 38. 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
 39. 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>.
 40. 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>
 41. Leakey, R.R.B. (1998.): Agroforestry for biodiversity in farming systems. *Advances in agroecology*. <https://doi.org/10.1201/9781420049244.ch8>.
 42. 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>.
 43. 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>
 44. 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>.
 45. 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
 46. 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>.
 47. 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>
 48. 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>.
49. 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
 50. 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
 51. Murthy, I.K., Gupta, M., Tomar, S., Munsli, 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
 52. 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>
 53. 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>
 54. [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.](#)
 55. Ocampo-Ariza, C., Vansynghe, J., Bertleff, D., Maas, B., Schumacher, N., Ulloque-Samatelo, C., Yovera, F.F., Thomas, E., Steffan-Dewenter, I., Tschardtke, T. (2023.): Birds and bats enhance cacao yield despite suppressing arthropod mesopredation. *Ecol Appl.*, e2886. <https://doi.org/10.1002/eap.2886>.
 56. 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>.
 57. 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.
 58. 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>.
 59. Pandher, L.K., Gupta, R.K., Kukal, S.S. (2019.): Seasonal variations in C and N fractions under tree-based cropping systems in typic ustochrepts. *Tropical Ecology*. 60:455–461. <https://doi.org/10.1007/s42965-019- 00047-8>
 60. 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>
61. 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>.
 62. 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>.
 63. 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
 64. 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
 65. 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>.
 66. 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>.
 67. 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>
 68. 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>.
 69. 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>
 70. 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>
 71. SoilSurveyStaff 1951., 'Soil Survey Staff', Soil survey manual, USDA-ARS. Govt
 72. 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>.
73. 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>
 74. 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).
 75. 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>
 76. Udawatta, R. P., Rankoth, L. M., Jose, S. (2019.): Agroforestry and Biodiversity. *Sustainability*, 11 (10), 2879. <https://doi.org/10.3390/su11102879>.
 77. 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>
 78. Vukadinović, V. i Lončarić, Z. (1998.): Ishrana bilja. Poljoprivredni fakultet u Osijeku.
 79. 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>.
 80. Wang, H., Huang, Y., Huang, H., Wang, K.M., Zhou, S.Y. (2005.): Soil properties under young Chinese firbased agroforestry system in mid-subtropical China. *Agroforestry Systems*. 64: 131–141. DOI 10.1007/s10457- 004-0718-4
 81. 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>.
 82. 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
 83. 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>.
 84. 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>.
 85. 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
86. 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>.
 87. 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>.
 88. 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>
 89. 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>
 90. Despagne, F., Massart, D. L. (1998): Neural network in multivariate calibration. *The Analyst Tutorial Review*.
 91. Dougherty, M. (1995): A review of neural netowrks applied to transport. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 3 (4), pp. 247-260.
 92. 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.
 93. 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.
 94. Ledoux, C. (1997): An urban traffic flow model integrating neural networks. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 3 (4), pp. 287-300.
 95. 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.
 96. Lončarić, Z., Kovačević, V., Šepuť, M., Šimić, B., Stojić, B. (2005.): Influences of fertilization on yield and nutritional status of maize. *Cereal Research Communications*. 33 (1.): 259-262.
 97. Lončarić, Z., Popović, B., Teklić, T., Engler, M. Karalić, K. (2006.): Comparision of two soil phosphorus analitycal methods in Croatia. *Commun. Soil Sci. Plant anal.* 37: 2867-2881.
 98. 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.
 99. 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.
100. 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>
 101. 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>
 102. 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>
 103. 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
 104. 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>
 105. 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>

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. Prvi lokalitet bio je u Osječko-baranjskoj županiji, na području Đakova, dok je drugi bio u Vukovarsko-srijemskoj županiji, u Ivankovu. 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 (humusa) u tlu (bikormatna i Tjurin) kako bi se utvrdila njihova točnost i primjenjivost. Dobiveni rezultati poslužili su za razvoj regresijskog modela predikcije humusa kao i modela neuronskih mreža koji su koristili iste ulaze varijable: sadržaj humusa 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 humusa 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 (humus) 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 humus content as well as a neural network model that used the same input variables: humus 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 humus 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	humus(%)	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	humus(%)	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 poljoprivrede*, 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).