

# Komparativne metode za određivanje sadržaja ugljika u tlu

---

**Kelčić, Stela**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:550603>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-05**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek - Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA**  
**FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Stela Kelčić

Diplomski sveučilišni studij Bilinogojstvo

Smjer Ishrana bilja i tloznanstvo

**KOMPARATIVNE METODE ZA ODREĐIVANJE SADRŽAJA UGLJIKA U TLU**

Diplomski rad

**Osijek, 2023.**

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA**  
**FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Stela Kelčić

Diplomski sveučilišni studij Bilinogojstvo

Smjer Ishrana bilja i tloznanstvo

**KOMPARATIVNE METODE ZA ODREĐIVANJE SADRŽAJA UGLJIKA U TLU**

Diplomski rad

**Osijek, 2023.**

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Stela Kelčić

Diplomski sveučilišni studij Bilinogojstvo

Smjer Ishrana bilja i tloznanstvo

**KOMPARATIVNE METODE ZA ODREĐIVANJE SADRŽAJA UGLJIKA U TLU**

Diplomski rad

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. izv. prof. dr. sc. Vladimir Ivezić, predsjednik
2. prof. dr. Brigita Popović, mentor
3. doc. dr. Vladimir Zebec, član

**Osijek, 2023.**

## SADRŽAJ:

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>1.1. Cilj istraživanja</b> .....	5
<b>2. PREGLED LITERATURE</b> .....	6
<b>3. MATERIJALI I METODE</b> .....	12
<b>3.1. Lokalizacija i uzorci tla za analize</b> .....	12
3.1.1. Lokalizacija uzorkovanja tla .....	12
3.1.2. Uzorci tla za kemijske analize .....	12
3.2.1. pH reakcija tla .....	12
3.2.2. Određivanje sadržaja lakopristupačnog fosfora i kalija .....	13
3.2.3. Humus u tlu .....	13
<b>3.3. Komparativne metode analize humusa u tlu</b> .....	13
3.3.1. Bikromatna metoda .....	13
3.3.2. CHN analizator .....	14
<b>3.4. Statistička obrada podataka</b> .....	14
<b>4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA</b> .....	15
<b>4.1. Osnovna kemijska svojstva analiziranih uzoraka</b> .....	15
4.1.1. pH reakcija tla .....	18
4.1.2. Sadržaj lako pristupačnog fosfora i kalija po AL-metodi .....	19
4.1.3. Sadržaj humusa u tlu .....	22
<b>4.2. Korelacija sadržaja humusa utvrđenog različitim metodama na lokalitetu 1</b> .....	23
<b>4.3. Korelacija sadržaja humusa utvrđenog različitim metodama na lokalitetu 2</b> .....	24
<b>4.4. Korelacija sadržaja humusa na lokalitetu 1 i lokalitetu 2</b> .....	25
<b>4.5. Korelacija sadržaja humusa na oba lokaliteta prema dubini uzorkovanja</b> .....	26
<b>5. RASPRAVA</b> .....	29
<b>5.1. Uzorkovanje tla za kemijske analize</b> .....	29
<b>5.2. Osnovna kemijska svojstva uzoraka tla</b> .....	29
5.2.1. pH reakcija uzoraka .....	29
5.2.2. Sadržaj lakopristupačnog fosfora i kalija .....	30
5.2.3. Sadržaj humusa u uzorcima tla .....	31
5.2.4. Korelacija sadržaja humusa na oba lokaliteta .....	33
<b>6. ZAKLJUČAK</b> .....	34
<b>7. POPIS LITERATURE</b> .....	35
<b>8. SAŽETAK</b> .....	38

<b>9. SUMMARY .....</b>	<b>39</b>
<b>10. POPIS TABLICA.....</b>	<b>40</b>
<b>11. POPIS GRAFIKONA .....</b>	<b>41</b>
<b>12. POPIS SLIKA.....</b>	<b>42</b>

## 1. UVOD

Ugljik je element koji je u tlu poznat još od davnine, njegovo ime potječe od latinskog naziva za ugljen (*carbo* – ugljen). Ugljik se u elementarnom stanju može naći u alotropskim modifikacijama kao što su crni amorfn ugljik grafit, dijamant ili fuleren. Ugljik u prirodi najčešće možemo pronaći u obliku karbonata koji se nalaze u sedimentnim stijenama najviše u dolomitu i vapnencu. Ugljik nalazimo i u morskim dubinama, ugljenu i nafti otopljenom u CO<sub>2</sub> obliku. Manji dio ugljika možemo pronaći i u živim organizmima kao i u ugljikohidratima. Na sobnim temperaturama modifikacije ugljika teže reagiraju s ostalim elementima, dok ugljik na visokoj temperaturi najbolje reagira s kisikom tvoreći upravo spoj CO<sub>2</sub>. Ugljik sa silicijem, borom i nekim drugim elementima tvori karbide, u spojevima je ugljik četverovalentan. Ugljik kao element ima sposobnost spajanja u duge lance i na takav način ima sposobnost za stvaranje spojeva koji su različitih funkcija i karakteristika (Godec, 2008.).

Modernizacijom poljoprivredne proizvodnje koja je jedna od bitnih egzistencijalnih i prvih ljudskih djelatnosti, također ima najbitniju ulogu u proizvodnji hrane za globalnu populaciju. Sve većim širenjem poljoprivredne proizvodnje i njenim ubrzavanjem čovjek postaje glavni krivac za smanjenje sadržaja organske tvari, tj. tim i sadržaja ugljika u tlu. Ugljik se u tlo unosi organskom tvari koja predstavlja svojevrsno skladište ugljika i time postaje najveća zaliha ugljika u tlu. Ugljik je pokazatelj kvalitete i zdravlja agroekosustava i određenog tla na kojemu se odvija poljoprivredna proizvodnja (Meena i sur., 2020. i de Moura i sur., 2021.).

Ugljik je važna komponenta svih živućih organizama i tvori oko 50% njihove suhe mase. Biokemijski ciklus ugljika temelji se na njegovoj izmjeni između atmosfere, biosfere, hidrosfere, geosfere i pedosfere (Meena i sur., 2020.).

Ciklus se odvija kroz proces fotosinteze, disanje i razgradnje organske tvari. Upravo fotosinteza i disanje su najvažnija dva procesa koja su bitna za ciklus kruženja ugljika u prirodi. Fotosintezu možemo nazvati asimilacijom ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>), troši se CO<sub>2</sub> koji se nalazi u vodi i zraku. Procesom disanja koje stvaraju živući organizmi i razgradnjom pomoću bakterija organski spojevi ugljika vraćaju se u staništa. Atmosfere sadrži najmanje količine ugljika, ali nagomilani CO<sub>2</sub> u atmosferi postaje opasan staklenički plin. Sve veće

korištenje i izgaranje ugljika kao fosilnog goriva, te njegovo isparavanje u atmosferu dovodi do sve većeg povećanja stakleničkog plina (Fanuko, 2005.).

Sve veća modernizacija poljoprivredne proizvodnje dovodi do njenog sve većeg širenja i rasta, međutim uvjeti na koje ne možemo utjecati dolaze upravo iz prirode i očituju se kao sve veće klimatske promjene kojima smo izloženi (Shankar, sur. 2021.). Klimatske promjene sve su više izražene u svjetskoj poljoprivrednoj proizvodnji, te se tako sekvestracija ugljika sve više nameće kao efektivno rješenje kao i smanjenje CO<sub>2</sub>. Upravo CO<sub>2</sub> najvećim dijelom od čak 65% doprinosi sve većim količinama stvaranja stakleničkih plinova u atmosferi (Meena i sur. 2020.).

Poljoprivredna djelatnost ima najveću ulogu u stvaranju CO<sub>2</sub>, ali isto tako poljoprivreda najvećim dijelom može doprinijeti u procesu sekvestracije ugljika u tlu. Održivi poljoprivredni sustavi i pravilna i pravovremena primjena stajskih gnojiva ključne su stvari kojima poljoprivrednici mogu povećati udio ugljika u tlu, njegovo povećanje kao posljedicu donosi smanjenje emisiju CO<sub>2</sub>. Takvim postupcima CO<sub>2</sub> nije skladišten na jednome mjestu već se raspodjeljuje na druge sustave, kao npr. oceane (Meena i sur. 2020., Shankar, sur. 2021.).

Ugljik je element koji je najvažniji indikator zdravlja tla i najvažniji element kada govorimo o sastavu organske tvari tla. Istraživanjima je utvrđeno da je zadnjih 150 do 300 godina iz tla izgubljeno od 100 do 200 bilijuna tona ugljika. Razlog gubitka je ljudska aktivnost kojom ponajviše šumska zemljišta postaju područja na kojoj se obavlja poljoprivredna proizvodnja. Procjene su da cjelokupna svjetska tla sadrže oko  $1,5 \times 10^{12}$  metričkih tona organskog podrijetla ugljika (Meena i sur. 2020.).

Ugljik je uz zdravlje tla još i pokazatelj biljne produktivnosti tla, što se utvrđuje redovitim kemijskim analizama tla, najčešće se izražava kao humus u tlu pa tako izračun izgleda ovako:  $C \% \times 1,724 = \text{humus } \%$ . Koncentracije humusa koje se nalaze u tlu se mijenjaju jako sporo do najvećeg pada sadržaja humusa dolazi upravo pretvaranjem „djevičanskog tla“ u tla za poljoprivrednu proizvodnju (Vukadinović, 2022.).

Sadržaj ugljika u tlu može biti mineralnog podrijetla, no najvećim je dijelom organskog podrijetla od ostataka biljaka i životinja. Biljke tijekom svog životnog ciklusa rasta i razvoja, a kasnije odumiranja i razlaganja u tlu ostavljaju spojeve koji su organskog podrijetla na bazi ugljika. Takav ugljik fauna koja se nalazi u tlu ju razgrađuje i metabolizira i kao takav ugljik biva ugrađen u biomasu faune. Procesom respiracije fauna tla ugljik vraća u atmosferu ili ga



direktno izlučuju natrag u tlo. Svjetska istraživanja su pokazala da se ugljik može svrstati u pojedine kategorije („*pools*“), tj zalihe ugljika prem njegovom zadržavanju u tlu. Vrijednost prema kojoj se ugljik kategorizira se naziva prosječno vrijeme zadržavanja (eng. *mean residence time*). Prema navedenoj vrijednosti ugljik se može nalaziti u tri kategorije:

1. Brza – naziva se još i labilna zaliha jer ugljik vrlo brzo biva vrćen u atmosferu svega nekoliko dana ali može trajati i do nekoliko godina. Ova zaliha sadržava ugljik od svježe unesenih biljnih ostataka u tlo. Nastaju jednostavni ugljikovi spojevi koji se lako izlučuju putem korijenovog sustava biljaka. Ovu zalihu koriste mikroorganizmi tla koji generiraju određene veće količine CO<sub>2</sub>.

2. Spora – naziva se još i polustabilna zaliha ugljika. Zadržava ugljik najkraće nekoliko godina do najduže nekoliko desetljeća o čemu najviše ovisi tekstura tla. Isto tako veliku ulogu ima način na koji se gospodari tlom i na kojem se klimatskom području nalazi tlo. Ova zaliha sadržava prerađene biljne ostatke. Molekule ugljika u ovoj zalihi su zaštićeni od djelovanja mikroorganizama biokemijskim i fizikalnim procesima koji se događaju u tlu.

3. Stabilna zaliha – ova zaliha se sporo mijenja jer se otpornija na razne vanjske utjecaje. Ugljik u tlu se u ovoj zalihi može zadržavati nekoliko stoljeća čak i do milenija. Ova se zaliha tla sastoji od dijela humusa i organskog ugljika koji se zaštićeni od razgradnje sa strane mikroorganizama koji se nalaze u tlu (Kane, 2015.).

Kao već ranije navedeno ugljik može biti podrijetlom iz organske tvari koja se nalazi u tlu. Organsku tvar može biti podijeljena u nekoliko frakcija što može zavisiti o gustoći organskih tvari. Može se sastojati od zalihe koja je zaštićena, tj. otporna je na promjene u tlu. Postoji sporoobnavljajuća organska tvar, ali i zaliha organske tvari koja se brže razgrađuje. Neke od najznačajnijih frakcija ugljika su AAC (*aggregate associated carbon*) – ugljik koji je vezan za agregate tla; DC (*dissolved carbon*) – otopljeni ugljik; EOC (*easily oxidizable carbon*) – ugljik koji je lako podložan oksidiranju; HFOC (*heavy fraction organic carbon*) – teža frakcija organskog ugljika; LFOC (*light fraction organic carbon*) – lakša frakcija organskog ugljika; ROC (*recalcitrant organic carbon*) – otporni organski ugljik; LOC (*labile organic carbon*) – labilan organski ugljik; LC (*labile carbon*) – labilna frakcija ugljika itd. Može se reći da je upravo LC najznačajnija frakcija ugljika, vrlo je osjetljiva na uzgojne sustave i njegove promjene, također vrlo osjetljiva na eroziju tla. Gore navedene frakcije ugljika i organske tvari tvore samo mali dio ukupnog sadržaja ugljika, no imaju važnu ulogu u stvaranju mikrobn transformacija i dostupnosti određenih hraniva u sastavu tla. Upravo

poznavanje i razlikovanje frakcija može doprinositi poboljšanju održivosti ekosustava (Pandher i sur. 2019.).

Stabilne zalihe ugljika su uvijek statičnog karaktera, povećanje organskog ugljika u tlu moguće je efektivno provesti u sporim i labilnim zalihama. Povećava se neto balans od ukupnog usvojenog ugljika s obzirom na onaj ugljik koji se izgubio iz tla. Postoje 4 efektivna načina s kojima se može utjecati na dinamiku ugljika u tlu:

1. Kontinuirano zadržavanje živog malča kao pokrivni sloj tla
2. Pokušati input, tj. kvalitetu i kvantitetu organizama biljnog i životinjskog podrijetla
3. Pokušati povećati broj i raznolikost populacije mikroorganizama u tlu
4. Zadržati ugljik u agregatima tla smanjenjem obrade tla

Pravilnom primjenom navedenih procesa može se efikasno utjecati na brže povećanje ugljika u tlu, povećanje ugljika naknadno će rezultirati smanjenjem CO<sub>2</sub> u atmosferi (Kane, 2015.).

Za labilnu frakciju ugljika značajno je to što je ona aktivna zaliha ugljika u tlu, kao takva predstavlja izvor hraniva u tlo. Direktno utječe na kruženje hraniva što poboljšava biološka svojstva nekog tla. Kolebanja količine ugljika dostupnog u labilnoj frakciji tla može biti prvi pokazatelj degradacije tog tla ili u boljem slučaju poboljšanja tla zbog boljeg načina njegove obrade (Weil i sur. 2003.).

Malo je poznato koliki je zapravo sadržaj ugljika u tlu ako sagledamo na užoj regionalnoj zalihi, a još manje na široj svjetskoj razini. Potrebno bi bilo provoditi redovite i češće laboratorijske analize većeg broja lokaliteta tla da bi se došlo do saznanja kolika je najbliža točna razina sadržaja ugljika u tlima određene regije. Takve analize su spore i financijsko sve više ne isplative. Nova moderna istraživanja pokušavaju putem umjetne inteligencije ili hiperspektralne analize utvrditi sadržaje ugljika u tlu. Takvi sustavi su još u svojim počecima, ali se očekuje njihova sve veća primjena. Što više prikupljenih podataka o sadržaju organskog ugljika pomoglo bi za utvrđivanje ukupnog zdravlja tla, ali bi se spoznao i ciklus ugljika na regionalnoj ili globalnoj razini (Vukadinović, 2022.).

Dobiveni rezultati kemijske analize tla u ovom radu bit će prikazani putem korelacijskih grafikona.

Postupak korelacije je statistički izračun povezanosti između dviju varijabli. Njihova povezanost ili asocijacija znači da je putem poznavanja jedne varijable moguće predviđjeti

veličinu druge varijable. Korelacije mogu biti linearne ili nelinearne. Dobivene vrijednosti korelacije mogu se brojčano iskazati koeficijentom korelacije, a to su najčešće Pearsonov ( $r$ ) ili Spearmanov ( $\rho$ ). Koeficijent korelacije može pokazati u kojoj mjeri će promjena jedne varijable utjecati na promjene u drugoj varijabli. Koeficijent korelacije može imati + ili – predznak, a on govori o smjeru povezanosti (Udovičić i sur., 2007.).

### **1.1. Cilj istraživanja**

Cilj istraživanja ovoga rada je prikaz sadržaja ugljika u tlu. Cilj je usporediti sadržaj ugljika-organske tvari u tlu koji je dobiven putem primjene dvije različite komparativne metode analize tla.

Sadržaj organske tvari u tlu biti će se utvrđen na uzorcima tla prikupljenim na različitim lokalitetima i uzorci će biti analizirani putem dvije metode za analizu sadržaja organske tvari u tlu: bikromatna metoda (ISO standard) i metoda analize tla na CHN analizatoru. U cilju prikaza podataka oni će biti obrađeni u programu Microsoft Excel- korelacije.

## 2. PREGLED LITERATURE

Kane (2015.) zaključuje da postoje 4 načina zaštite količine ugljika u tlu:

1. Fizička zaštita ugljika u tlu – može se još nazvati i agregacija jer se sekvestracija ugljika dešava putem agregata u tlu. Agregati se formiraju u stabilne grupacije načinom da se sitne čestice sljepljuju zajedno. Sljepljuju ih čestice gline, ali i određene izlučevine mikroorganizama koje su nalik na ljepilo. Ugljik je u takvim agregatima vezan u središtu, te je kao takav okružen česticama koje ga štite od djelovanja mikroorganizama u tlu.

2. Kemijska zaštita – ili organo – mineralni kompleks jer mogućnosti tla za zaštitu ugljika jako ovise o proporciji mineralne frakcije u tlu koja je sastavljena od čestica gline. Površina čestica gline je negativnog naboja, a nusproizvodi djelovanja mikroorganizama razgradnjom ugljikovih molekula cine pozitivan naboj. Kada dođe do kontakta tih naboja, tj. molekula stvara se veza koja zaštićuje ugljik.

3. Biologija tla – ovdje govorimo direktno o mikroorganizmima koji imaju ulogu bitnu ulogu u zaštiti ugljika razgradnjom biljnih i životinjskih ostataka na manje molekule ugljika koje su bolje zaštićene. Krupniji biljni ostati razgrađeni su od strane insekata i nematoda, dobivaju se već navedene manje molekule ugljika koje mogu metabolizirati bakterije i gljive. Gljive svojim djelovanjem tako maksimiziraju količine alociranog ugljika, te takvi spojevi direktno poboljšaju stabilnost agregata u tlu.

4. Povećanje inputa – ako bi se povećala kvantiteta i kvaliteta inputa ugljika direktno se djeluje na bilansu unesenog i izgubljenog ugljika iz tla. Stalna prekrivenost tla slojem malča, što veći plodoredi i raznolikost uzgajanih kultura kao npr. i što veći uzgoj leguminoza dovode do povećanja raznolikosti ugljika u tlu i time se djeluje na njegovu stabilnost.

Pandher i sur. (2019.) zaključuju da je koncentracija organskog ugljika u tlu bila veća kod agrošumskih sustava nego kod uzgoja monokultura. Dolazilo je i do povećanja vrijednosti organskog ugljika kako se povećavala starost uzgajanih drvenastih kultura.

Isto tako Pandher i sur. (2019.) navode kako starost drvenastih kultura nije bitan samo u smislu sekvestracije ugljika već i kod sadržaja ugljika organskog podrijetla. Navodi konkretne činjenice da je kod 6-godišnjeg agrošumskog sustava količina organskog ugljika bila  $5,5 \text{ mg g}^{-1}$ . Kod 3-godišnjeg agrošumskog sustava količina je iznosila  $4,3 \text{ mg g}^{-1}$ .

Agrošumstvo i uzgoj drvenastih kultura imaju značajan utjecaj na frakcije ugljika u tlu. Pandher i sur. (2019.) zaključili su da agrošumski sustavi povećavaju razinu agregatno povezanog ugljika, čestice organskog ugljika i mineralizirani ugljik.

Labilni sadržaj ugljika u tlu na dubini od 0 do 15 cm značajno je veći kod 6- godišnjih agrošumskih sustava. Autori Pandher i sur. (2019.) navode kako labilan ugljik u tlu najoštrije reagira na promjene inputa organske tvari u tlo. Povećanje ugljika u labilnoj frakciji utječe direktno na povećanje frakcije ukupnog ugljika tlu. Autori time potvrđuju postojeću vezu između uzgojnih sustava i organskog ugljika u tlu.

Na dubini od 120 cm uočeno je smanjenje razine organskog ugljika u tlu. Najmanje smanjenje sadržaja organskog ugljika uočeno je upravo u već navedenim 6-godišnjim agrošumskim sustavima i to čak 78 %. Također su značajniji padovi zabilježeni u agrohortikulturnom sustavu. Najveći pad sadržaja organskog ugljika zabilježen je u monokulturama, tj. u uzgoju kukuruz – pšenica i to do 89,7 % navode Pandher i sur. (2019.).

Agrošumski sustavi mogu poboljšati organski ugljik u tlu jer takvi uzgojni sustavi imaju direktan utjecaj na formiranje i stabilnost mikro i makroagregata u tlu. Stabilnost agregata bitna je za očuvanje organskog ugljika te je tako i za sekvestraciju organskog ugljika u tlu navode Bhattacharyya i sur. (2021.). Autori također navode da tlo na ekološkoj dubini sadržava veće količine organskog ugljika, a to je pokazatelj da korijenov sustav ima veliku ulogu u fiksaciji ugljika u tlu.

Uzgoj drvenastih kultura također djeluje na brzu akumulaciju ugljika u tlu zbog povećanja biomase od odumrlih biljnih ostataka kao što su grane ili lišće. Također ulogu u akumulaciji imaju i korjenove izlučevine što navode Guo i sur. (2020.).

Autori Bateni i sur. (2021.) naveli su formulu za izračunavanje zaliha organskog ugljika u tlu:

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

C = sadržaj organskog ugljika u %

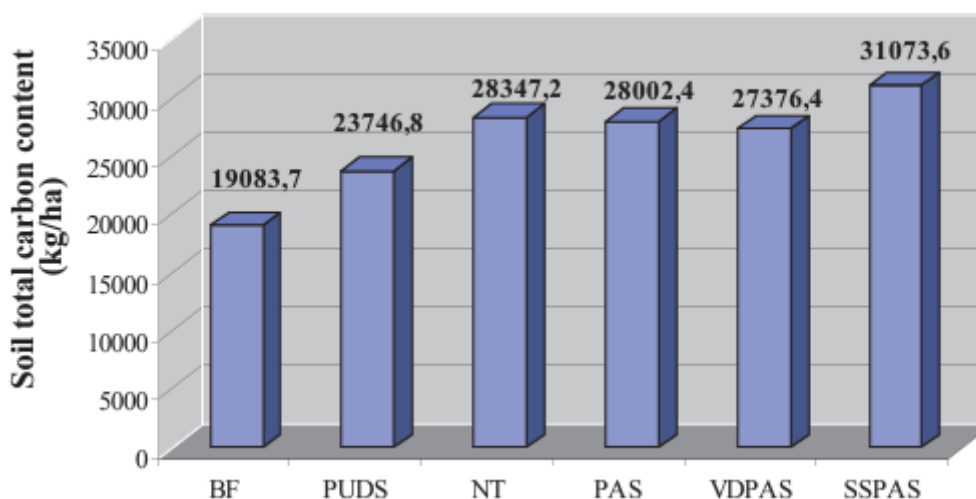
$\rho_{\text{soil}}$  = volumna gustoća tla ( $\text{t m}^{-3}$ )

3000 = volumen tla ( $\text{m}^3$ ) u 1 ha, tj. 30 cm sloja tla

Lal R. (2004.) navodi da su kultivirana tla izgubila između jedne polovine do čak dvije trećine izvorne količine organskog ugljika u tlu. Također Lal i Ussiri, (2009.) navode da je važno praćenje količine CO<sub>2</sub> i sadržaja ugljika kroz različite načine obrade tla. Važno je iz razloga da se odredi najbolji način obrade tla koji bi efikasno održavao produktivnost tla i tako doprinio povećanom skladištenju sadržaja ugljika što se direktno odražava na ublažavanje klimatskih promjena.

Bilandžija i sur. (2014.) u svom su istraživanju napravili tablicu kolika je količina ugljika u sloju tla od 0 do 30 cm s obzirom na različite načine obrade tla. Provedeni načine obrade tla su:

1. BF – kontrolni tretman gdje je smjer oranja bio uzbrdo i niz padinu
2. PUDS – oranje na 30 cm dubine uzbrdo i niz padinu uz naknadno tanjuranje i drljanje
3. NT – nema obrate tla
4. PAS - oranje na 30 cm dubine preko padine u smjeru kosine uz tanjuranje i drljanje
5. VDPAS – vrlo duboko oranje na 50 cm preko padine u smjeru kosine uz tanjuranje i drljanje

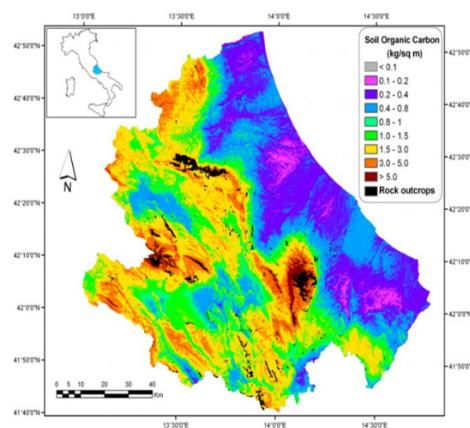


Slika 1. Prikaz količine ugljika u tlu s obzirom na način obrade tla

(Izvor: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglcfindmkaj>)

Vukadinović (2022.) navodi zaključak da su na tržištu prisutne nove metode kojima bi se na moderan i efikasan način mogao utvrditi sadržaj organskog ugljika u tlu. Autor navodi mjeru pomoću umjetne inteligencije koja se temelji na analizi organskog ugljika putem hiperspektralnog mjerenja. 350 do 2500 nm iznose valne duljine koje koristi hiperspektralna metoda, takav način mjerenja donosi pouzdane podatke o sadržaju organskog ugljika. Hiperspektralni senzori kao najveću vrlinu, navodi autor, imaju njihovo korištenje na velikim područjima pomoću djelovanja aviona ili putem satelita. Analiza hiperspektralnog mjerenja radi pomoću refleksije svjetla koja se odbija od površinu tla, svjetlost se formira u spektralne pojaseve. Takvi svjetlosni pojasevi svojom dužinom interpretacije omogućuju procjenu kemijskog sastava tla, a time i približno točan sadržaj organskog ugljika koji se nalazi u tlu.

Hiperspektralna analiza ugljika bila bi velike važnosti za moderno, prostrano i donekle ekonomski prihvatljivo analiziranje svojstava i sadržaja elemenata u tlu. Velikog je geološkog, ekološkog, ali i ekonomskog značaja jer bi ovakva analiza omogućila i vremensko praćenje promjena koje se događaju u tlu navodi Vukadinović (2022.). Autor također vjeruje da je način korištenja agrotehnike i sam način pristupa obradi tla ključan dio u sadržavanju tj. sekvestraciji ugljika u tlu. Osim obrade tla važno je imati pravilan plodored, provoditi organsku ili zelenu gnojidbu zbog održavanja sadržaja humusa u tlu. Humus koji je direktan pokazatelj sadržaja ugljika u tlu nije lako uočiti kada dolazi do njegova pada ili rasta. Proces humizacije tla nije lako provodljiv niti ekonomski isplativ, stoga bi primjena moderne tehnologije kao što je hiperspektralna analiza uvelike pojeftinili i pospješili proces analize sadržaja ugljika u tlu.



Slika 2. Prikaz hiperspektralne analize sadržaja ugljika u tlu

(Izvor: Vukadinović, 2022.)

Bišćević i Motik (2015.) autori su koji pod nazivom „ugljikom bogata poljoprivreda“ govore o boljoj sekvenciji ugljika pomoću inovativnog načina kompostiranja. Navode kako bi se moglo pohraniti do 100% godišnjih emisija CO<sub>2</sub> ako bi se prešlo na načine regenerativne obrade tlo. Ugljikom bogata poljoprivreda zapravo govori o postupcima kojima bi se povećalo uklanjanje većih količina atmosferskog ugljika, te bi ga se pokušalo pretvoriti u biljne materijale i organske tvari u tlu. Najvažniji cilj bi bio ublažavanje stope stakleničkih plinova, ali je to na globalnoj razini teško postići u kratkome roku. Povećanjem zajednica mikroorganizama u tlu može se utjecati na brže pohranjivanje viška ugljika iz atmosfere.

Bišćević i Motik (2015.) objasnili su proces pasivnog kompostiranja što znači kompostiranje bez prevrtanja koje je razvio David C. Johnson u New Mexico. Pasivni način kompostiranja podrazumijeva postizanje optimalnog omjera gljiva i bakterija, također se postiže i niska razina saliniteta. Takav je kompost biološki aktivan i kao takav u kombinaciji s kultiviranim tlima koja nisu okretana u načinu obrade (eng. *no till*), dobivaju se vrhunski rezultati u vidu pohranjivanja ugljika iz atmosfere. Primjena biološkog aktivnog komposta povećava se i sama razina mikroorganizama u tlu. U površinskom sloju tla vidljivo je smanjenje količine CO<sub>2</sub>, dolazi do povećanja organske tvari u tlu za do oko 67% u roku dvije godine provođenja kompostiranja i *no till* obradom tla. Povećanje organske tvari u tlu doprinosi povećanju prinosa na usjevima i povećanju njihove kvalitete do 4 puta. Vodni kapacitet tla povećava se oko 30% navode autori.

Organska tla su vrlo različita od konvencionalnih tala. Ponajveća je razlika vidljiva u izgledu, organska tla su tamnija zbog većeg sadržaja ugljika i većeg broja mikroorganizama. U organskim tlima bolje su vidljivi mikroagregati. Bišćević i Motik (2015.) prikazuju sliku iz New Foresta gdje se vidi vizualna razlika organskog tla bogatog ugljikom i tla konvencionalne obrade.





Slika 3. Usporedba organskog tla i tla konvencionalne obrade

(Izvor: Bišćević i Motik , 2015.)

Veća populacija mikroorganizama u tlu doprinosi i većoj regeneraciji sadržaja humusa. Ako dolazi do stvaranja prirodnog procesa mineralizacije organske tvari tada dolazi do stvaranja vrlo stabilnih molekula humina. Sastav humina je najvećim dijelom ugljik zatim voda i malo kisika. Uz humin bitan spoj za zadržavanje i pohranjivanje ugljika duboko u tlu je glomalin. Formiranje glomalina dolazi iz mikorizne zajednice (gljiva i biljka). Glomalin može zadržavati ugljik u tlu u nekoliko godina, a njega možemo zaštititi tako da omogućimo stvaranje trajnog pokrova tla i razgranatog korijenovog sustava. Poljoprivredna proizvodnja uz biljni pokrov koji apsorbira ugljik kroz proces fotosinteze i sposobnosti tla da uz pomoć humina i glomalina trajno veže ugljik ima mogućnost u kratkom roku smanjiti višak CO<sub>2</sub> (Bišćević i Motik, 2015.).

### **3. MATERIJALI I METODE**

Uzorci tla za kemijske analize osnovnih svojstava tla prikupljeni su na području kontinentalne Hrvatske. Uzorci su uzimani na višegodišnjim nasadima vinove loze te su uzimani na dvije različite dubine od 0 – 30 cm i 30 – 60 cm.

Na uzorcima tla provedene su laboratorijske analize osnovnih kemijskih svojstava tla: pH tla u vodi i otopini KCl (ISO 10390, 1994.), sadržaj lakopristupačnog fosfora i kalija po AL-metodi, te sadržaj humusa u tlu bikromatnom metodom (ISO 14235, 1994.) i pomoću CHN analizatora tla. Pomoću CHN analizatora također je utvrđen ukupan sadržaj dušika u tlu.

#### **3.1. Lokaliteti i uzorci tla za analize**

##### *3.1.1. Lokaliteti uzorkovanja tla*

Prikupljeni su uzorci višegodišnjih nasada vinove loze tj. vinograda. Lokalitet 1 bio je na području Osječko – Baranjske županije. Na lokalitetu 1 je prikupljeno ukupno 20 uzoraka tla.

Ostalih 52 uzorka tla prikupljeno je na lokalitetu 2 na području Požeško – Slavonske županije.

##### *3.1.2. Uzorci tla za kemijske analize*

Uzorci na lokalitetu 1 i lokalitetu 2 uzorkovani su na dvije dubine od 0 do 30 cm i od 30 do 60 cm. Svi uzorci dopremljeni su u laboratorij u plastičnim vrećicama, uzorcima je dodana vanjska i unutarnja oznaka koja sadrži: broj profila, lokaciju, dubinu uzorkovanja i datum kada je uzorak uziman. Uzorci su bili uvedeni u knjigu uzoraka, očišćeni od svih primjesa i stavljeni na sušenje. Uzorci su nakon sušenja usitnjavani i prosijani, zatim je bila provedena homogenizacija uzoraka.

#### **3.2. Osnovna kemijska svojstva tla**

##### *3.2.1. pH reakcija tla*

pH je mjeren u uzorcima tla pomoću pH-metra pri čemu se mjeri razlika u elektroničkom potencijalu koji ovisi o aktivitetu  $H^+$  (ISO 10390, 1994.).

### 3.2.2. *Određivanje sadržaja lakopristupačnog fosfora i kalija*

Prema Egner – Riehm – Domingu AL metodom utvrđen je lakopristupačan fosfor i kalij u tlu i to na način ekstrakcije tla amonijevim laktatom. Fosfor koji je određen AL metodom odnosi se na oblik topive frakcije u vodi. Nalazi se u slabim kiselinama koje su najznačajnije za ishranu bilja. Nakon ekstrakcije fosfora AL otopinom, koncentracija fosfora određuje se plavom metodom. Plava metoda provodi se na sljedeći način:

Od bistrog filtrata tla se odpipetira 10 ml što je odmjereno u tikvicu od 100 ml. Dodaje se 9 ml 4 moldm-3 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (213,2 ml konc. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/1000 ml). Dopunjava se destiliranom vodom do polovine tikvice. Tikvice se zagrijavaju na vodenoj kupelji te se dodaje 10 ml 1,44 amonij molibdata (1,44 g/100 ml) i 2 ml 2,5 % askorbinske kiseline (2,5 g/100 ml). Tako pripremljene tikvice drže se još pola sata na vodenoj kupelji kako bi razvile kompleks plave boje. Usporedno je proveden isti postupak tijekom serije standardnih otopina. Pipetira se 10 ml svakog radnog standarda umjesto filtrata u odmjerene tikvice. Odmjereni standardi odgovaraju količini od 0, 100, 200, 300, 400, 500 i 800 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg – 1 tla. Kada se tikvice ohlade u njih se do oznake nadopunjuje destilirana voda. Serija standarda i uzorci odmjereni su spektrofotometrijski na 680 nm te se uz pomoć standarda kalibrira spektrofotometar koji zatim pomoću softvera WinLAB izračuna količinu lakopristupačnog fosfora u filtratima tla. Izražava se u mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg – 1 (Egner i sur., 1960.).

### 3.2.3. *Humus u tlu*

Humus u tlu utječe na vrlo značajna kemijska i fizikalna svojstva tla, kao što su struktura, kapacitet za vodu, sorpcija iona, sadržaj neophodnih elemenata itd. Sadržaj humusa u tlu određen je bikromatnom metodom (*ISO 14235, 1994.*) koja predstavlja mokro spaljivanje organske tvari tla kalijevim bikromatom.

Druga metoda određivanja sadržaja humusa bila je putem CHN analizatora koji izgara uzorak kroz 4 zone.

## 3.3. **Komparativne metode analize humusa u tlu**

### 3.3.1. *Bikromatna metoda*

Ova metoda analize uzoraka tla predstavlja mokro spaljivanje organske tvari tla pomoću kalij-bikromata. Na početku samog postupka u čašu od 300 ml se odvaži i 1 gram tla. Tlo mora biti u zrakosuhom stanju i prosijano kroz sito promjera 2 mm. Tom se uzorku dodaje 30 ml otopine 0,33 M K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> i uz to još 20 ml koncentrirane sulfatne kiseline. Dobivena

mješavina, tj. smjesa je vruća i kao takva se odmah dodaje u sušionik na 90 minuta. Temperatura u sušioniku iznosi između 98 i 100 °C. Nakon 90 minuta čaša se vadi iz sušionika i ostavlja na hlađenje, zatim se u čašu doda 80 ml destilirane vode. Čaša se ostavlja tako 24 h, nakon toga se vrši spektrofotometrijsko mjerenje 585nm. (Lončarić, 2007.)

### *3.3.2. CHN analizator*

Ovakva analiza se temelji na PreglDums metodi gdje uzorci izgaraju na čistom kisiku. Izgaranjem se dobivaju plinovi koji se mjere na automatizirane načine. Korišten je CHNS/O 2400 analizator modela Perkin Elmer koji ima 4 glavne zone: 1. zona izgaranja, 2. zona kontrole plinova, 3. zona odvajanja i 4. zona detekcije. Izgaranje može biti na dva načina statično i dinamično, kombinacija dva izgaranja može dovesti do potpunog sagorijevanja uzorka tla. Na ovom analizatoru osim sadržaja ugljika na svim uzorcima određen je sadržaj ukupnog dušika.

### **3.4. Statistička obrada podataka**

Rezultati analiza uzoraka tla statistički su obrađeni pomoću PC aplikacija Microsoft Excel te je prikazana deskriptivna statistika i korelacije.

## 4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

### 4.1. Osnovna kemijska svojstva analiziranih uzoraka

Vrijednosti osnovnih kemijskih svojstava analiziranih uzoraka prikazane su u tablici 1. gdje uočavamo veliku heterogenost analiziranih uzoraka. Heterogenost je uočljiva gotovo kod svih svojstava gdje se vidi veća razlika između minimalne i maksimalne vrijednosti osim kod ukupne količine dušika (N) gdje je uočljiva najmanja razlika između minimalne i maksimalne vrijednosti.

Tablica 1. Osnovna kemijska svojstva analiziranih uzoraka tla

Lokalitet	Dubina	pHH <sub>2</sub> O	pHKCl	Humus %	AL- P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100g	AL- K <sub>2</sub> O mg/100g	Ukupni N %
1	0-30	5,99	4,32	1,13	7,812	11,27	0,10
1	30-60	5,85	4,59	1,21	26,95	21,93	0,10
1	0-30	6,36	4,9	1,24	8,632	11,94	0,07
1	30-60	5,91	4,96	1,21	19,24	17,47	0,07
1	0-30	6,31	5,31	1,27	20,04	15,54	0,10
1	30-60	6,22	5,53	1,20	9,48	11,17	0,06
1	0-30	6,33	4,46	2,24	22,84	17,55	0,08
1	30-60	6,29	4,29	1,85	12,27	12,58	0,05
1	0-30	6,37	4,85	1,55	5,658	14,95	0,05
1	30-60	6,3	4,95	1,58	3,029	14,91	0,03
1	0-30	6,62	4,82	1,13	12,12	17,11	0,09
1	30-60	6,53	4,66	1,28	8,75	15,73	0,06
1	0-30	8,42	6,95	1,27	13,91	16,02	0,07
1	30-60	8,36	7,13	1,20	3,418	19,53	0,05
1	0-30	6,97	5,53	1,21	26,38	17,27	0,10
1	30-60	6,92	5,36	1,241	10,34	14,2	0,05
1	0-30	8,16	7,15	1,34	45,61	20,74	0,10
1	30-60	8,01	7,24	1,20	49,44	26,13	0,09
1	0-30	7,55	5,98	1,55	22,02	18,89	0,08

1	30-60	7,56	5,93	1,51	9,508	15,71	0,05
2	0-30	5,9	4,78	1,72	14,49	23,79	0,10
2	30-60	6,33	4,69	0,62	10,14	17,35	0,05
2	0-30	6,07	4,59	0,93	10,09	12,51	0,06
2	30-60	5,88	4,37	0,79	11,32	13,57	0,06
2	0-30	6,25	5,06	1,83	12,19	20,28	0,10
2	30-60	5,85	4,46	0,86	7,791	11,07	0,06
2	0-30	5,05	4,38	1,00	9,208	14,65	0,07
2	30-60	6,05	4,46	0,62	7,096	14,63	0,05
2	0-30	6,16	4,57	1,21	7,659	13,89	0,07
2	30-60	6,19	4,42	0,93	6,106	12,2	0,05
2	0-30	6,16	4,6	1,34	7,809	16,61	0,09
2	30-60	6,4	4,77	1,20	7,712	17,11	0,07
2	0-30	8,06	6,73	1,58	9,155	26,6	0,09
2	30-60	8,14	7,4	0,86	3,197	21,49	0,04
2	0-30	6,05	4,5	1,48	21,53	23,98	0,09
2	30-60	5,8	3,89	0,82	11	18,98	0,05
2	0-30	6,36	5,29	2,10	44,75	38,77	0,14
2	30-60	6,26	4,6	1,24	46,73	20,02	0,08
2	0-30	5,84	4,77	2,06	36,15	29,32	0,12
2	30-60	5,99	4,33	1,00	27,14	23,77	0,06
2	0-30	6,79	5,66	1,89	22,25	18,46	0,12
2	30-60	7	6,2	1,10	19,3	12,51	0,06
2	0-30	5,95	4,66	1,62	25,94	25,7	0,09
2	30-60	5,87	4,27	1,03	19,1	22,66	0,07
2	0-30	6,17	5,02	1,48	39,94	42,35	0,09
2	30-60	6	4,52	0,72	32,26	35,39	0,05
2	0-30	5,7	3,95	0,55	1,993	13,25	0,03
2	30-60	5,48	3,74	0,55	0,888	10,49	0,03
2	0-30	5,88	4,86	0,93	16,56	23,83	0,05
2	30-60	5,58	3,83	0,65	14,13	15,56	0,04
2	0-30	5,75	3,94	1,10	1,541	14,36	0,06
2	30-60	5,8	4,04	0,45	0,716	12,73	0,03
2	0-30	6,07	4,68	0,90	11,62	13,31	0,05

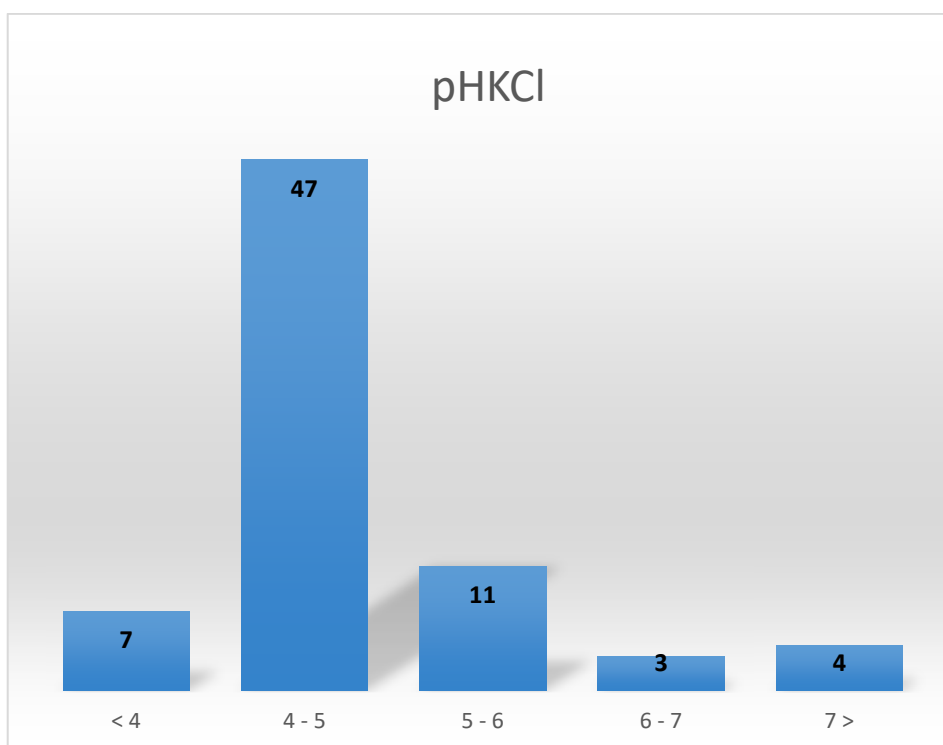
2	30-60	6,16	4,55	0,76	9,346	13,13	0,03
2	0-30	6	5,08	1,55	25,08	33,93	0,11
2	30-60	6,2	4,66	1,07	43,63	18,03	0,06
2	0-30	6,08	4,67	0,93	32,99	21,12	0,05
2	30-60	6,16	4,39	0,31	18,86	18,85	0,02
2	0-30	5,87	4,54	1,07	3,559	18,83	0,07
2	30-60	5,99	4,06	0,41	4,055	17,12	0,02
2	0-30	5,88	4,99	1,76	13,21	28,11	0,10
2	30-60	6,06	4,27	0,41	1,768	11,28	0,02
2	0-30	5,66	3,76	1,24	32,32	24,04	0,07
2	30-60	5,18	3,56	0,62	7,266	18,04	0,03
2	0-30	5,78	4,77	1,45	38,52	32,84	0,09
2	30-60	5,94	4,56	0,48	14,96	29,22	0,03
2	0-30	5,74	4,21	1,41	36,35	25,98	0,08
2	30-60	5,64	4,16	0,93	38,32	22,93	0,06
2	0-30	5,74	4,45	1,51	13,32	20,58	0,08
2	30-60	6,14	4,51	0,93	7,578	18,23	0,04
2	0-30	5,94	4,74	0,93	18,26	17,59	0,04

Tablica 2. Minimalna, maksimalna i prosječna vrijednost osnovnih kemijskih svojstava tla

	pH <sub>H2O</sub>	pH <sub>KCl</sub>	AL – P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	AL – K <sub>2</sub> O	Ukupni N	Humus %
<b>Min</b>	5,05	3,56	0,72	10,49	0,02	0,31
<b>Max</b>	8,42	7,4	49,44	42,35	0,14	2,24
<b>Prosjek</b>	6,28	4,85	16,93	19,22	0,06	1,15
<b>Standardna devijacija</b>	0,72	0,85	12,87	6,8	0,03	0,43

#### 4.1.1. pH reakcija tla

Prema vrijednostima prikazanim u tablici 2. prosječna vrijednost pH vrijednost u KCl je iznosila 4,85. Svi dobiveni uzorci se mogu svrstati u kategoriju od izrazito kiselih do slabo alkalnih tla. Grafikonom 1. je prikazana distribucija uzoraka prema kategorijama kiselosti tla. Izrazito kiselim tlima pripada 7 uzoraka što je 9,7 %. Jako kiselim tlima pripada najveći udio uzoraka, a to je 47 što iznosi 65,27%. Umjereno kiselim tlima pripada 11 uzoraka tla, tj. 15,27%. U kategoriju slabo kiselih tala pripada najmanji broj uzoraka, a to je 3 što je 4,16%. Slabo alkalnim tlima pripada 4 uzorka što iznosi 5,55 %.



Grafikon 1. Kategorizacija uzoraka tla prema kiselosti (pH KCl)



#### 4.1.2. Sadržaj lako pristupačnog fosfora i kalija po AL-metodi

Klasifikacija je napravljena prema Vukadinoviću i Lončariću.

Tablica 3. Sadržaj lakopristupačnog fosfora

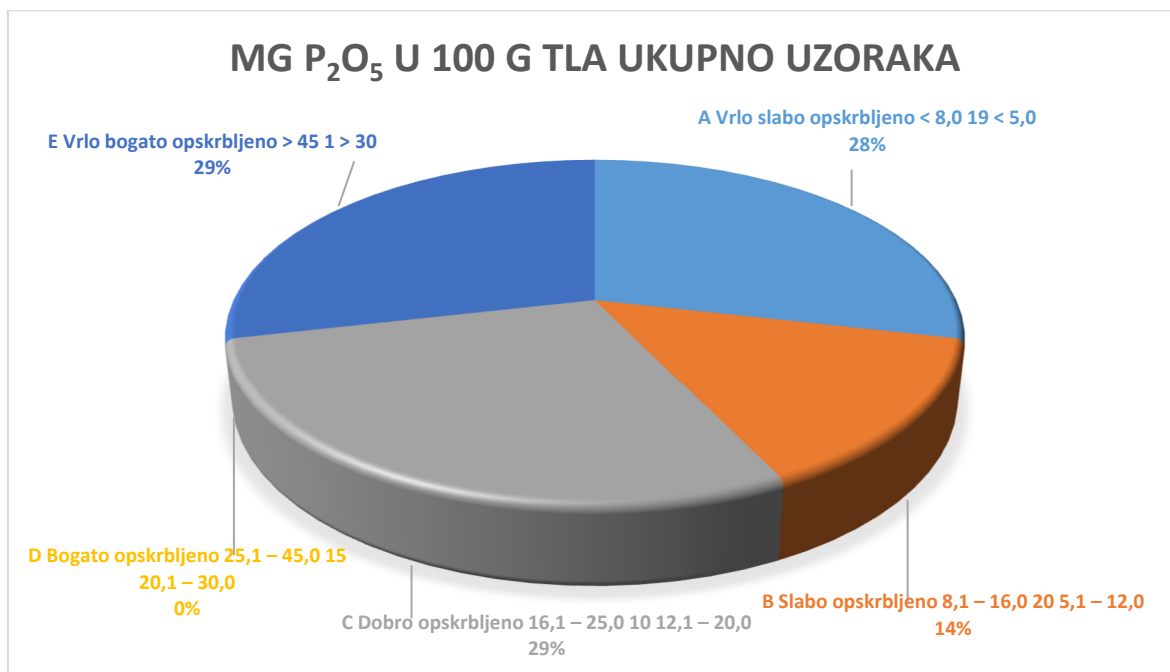
Klasa opskrbljenosti		mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> u 100 g tla			
		pH < 6	Ukupno uzoraka	pH ≥ 6	Ukupno uzoraka
<b>A</b>	Vrlo slabo opskrbljeno	< 8,0	19	< 5,0	2
<b>B</b>	Slabo opskrbljeno	8,1 – 16,0	20	5,1 – 12,0	1
<b>C</b>	Dobro opskrbljeno	16,1 – 25,0	10	12,1 – 20,0	2
<b>D</b>	Bogato opskrbljeno	25,1 – 45,0	15	20,1 – 30,0	0
<b>E</b>	Vrlo bogato opskrbljeno	> 45	1	> 30	2

Prosječna vrijednost sadržaja fosfora (tablica 2.) je bila 16,93 mg. Uzorci oba lokaliteta razvrstani su dvije kategorije (tablica 3.): pH < 6 i pH ≥ 6.

U tablici 3. vidljiva je podjela u 5 kategorija prema opskrbljenosti tla fosforom. Ukupno 65 uzoraka tla ima pH < 6, najveći broj uzoraka, njih ukupno 39 pripada skupini vrlo slabo i slabo tlo opskrbljeno fosforom. To su vrijednosti između < 8 i 16,0. Dobro opskrbljenom tlu pripada 10 uzoraka tla, dok bogato opskrbljenim tlima pripada 15 uzoraka tla. Samo jedan uzorak tla ima vrlo bogatu opskrbljenost tla fosforom > 45.

Ukupno 7 uzoraka tla posjeduju pH ≥ 6. Ukupno 3 uzorka tla pripadaju vrlo slaboj i slaboj opskrbljenosti tla fosforom. Dobro opskrbljenom tlu pripada 2 uzorka tla, također 2 uzorka tla ima vrlo dobru opskrbljenost tla fosforom i to u vrijednosti > 30.

U grafikonu 2. prikazan je postotni udio fosfora ukupnih uzoraka tla. Pa tako 28 % uzoraka ima vrlo slabu, 14 % slabu, 29 % dobru, 0 % bogatu i 29 % uzoraka ima vrlo dobru opskrbljenost tla fosforom.



Grafikon 2. Postotni udio P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> prema opskrbljenosti ukupnih uzoraka

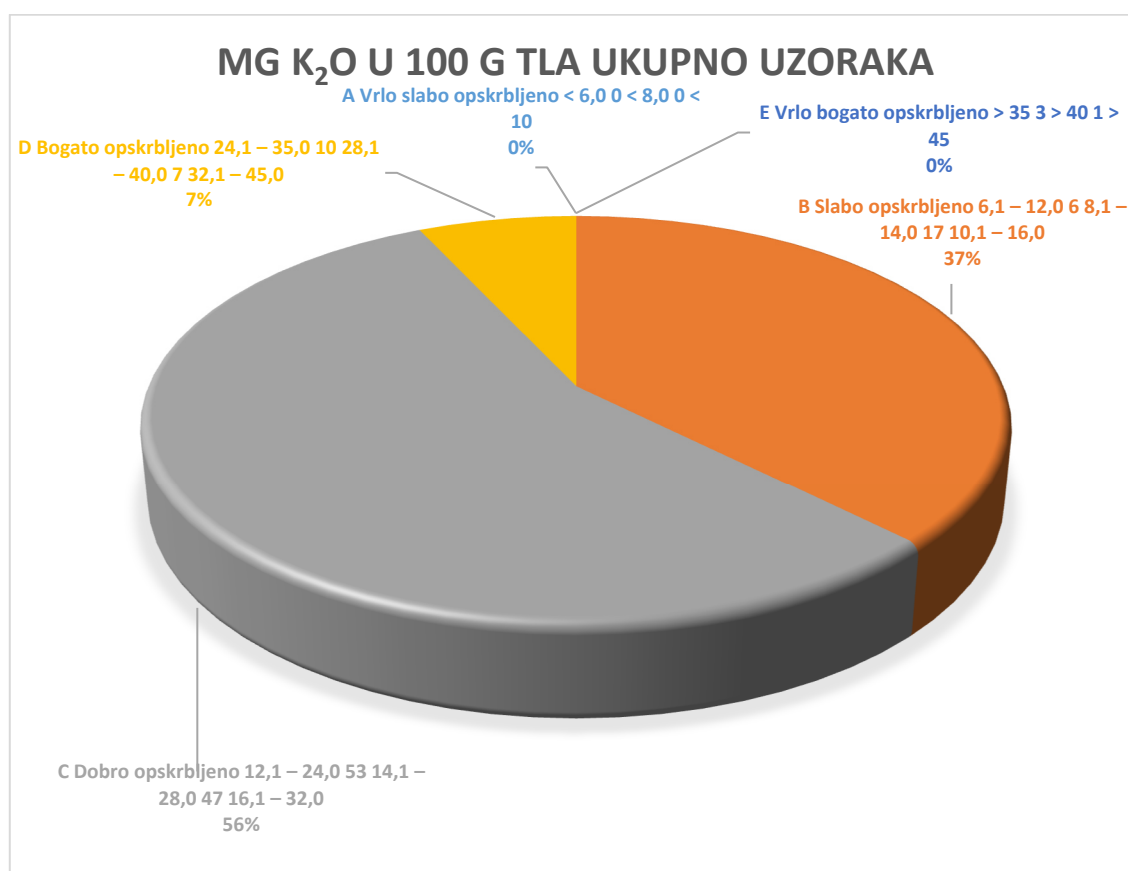
Tablica 4. Sadržaj lakopristupačnog kalija

Klasa opskrbljenosti	mg K <sub>2</sub> O u 100 g tla					
	Tla lakše teksture	Ukupno uzoraka	Tla srednje teške teksture	Ukupno uzoraka	Tla teže teksture	Ukupno uzoraka
<b>A</b> Vrlo slabo opskrbljeno	< 6,0	0	< 8,0	0	< 10	0
<b>B</b> Slabo opskrbljeno	6,1 – 12,0	6	8,1 – 14,0	17	10,1 – 16,0	27
<b>C</b> Dobro opskrbljeno	12,1 – 24,0	53	14,1 – 28,0	47	16,1 – 32,0	40
<b>D</b> Bogato opskrbljeno	24,1 – 35,0	10	28,1 – 40,0	7	32,1 – 45,0	5
<b>E</b> Vrlo bogato opskrbljeno	> 35	3	> 40	1	> 45	0

Tablica 4. prikaz je kategorizacije sadržaja kalija u tlima lakše, srednje i teže teksture. Niti jedan uzorak tla nema slabu opskrbljenost tla kalijem gledajući na sve tri kategorije tla. S obzirom na sve tri kategorije tla najveći se broj uzoraka nalazi u tlima s dobrom opskrbljenosti kalijem, minimalan broj uzoraka je u tlima s bogatom opskrbljenosti.

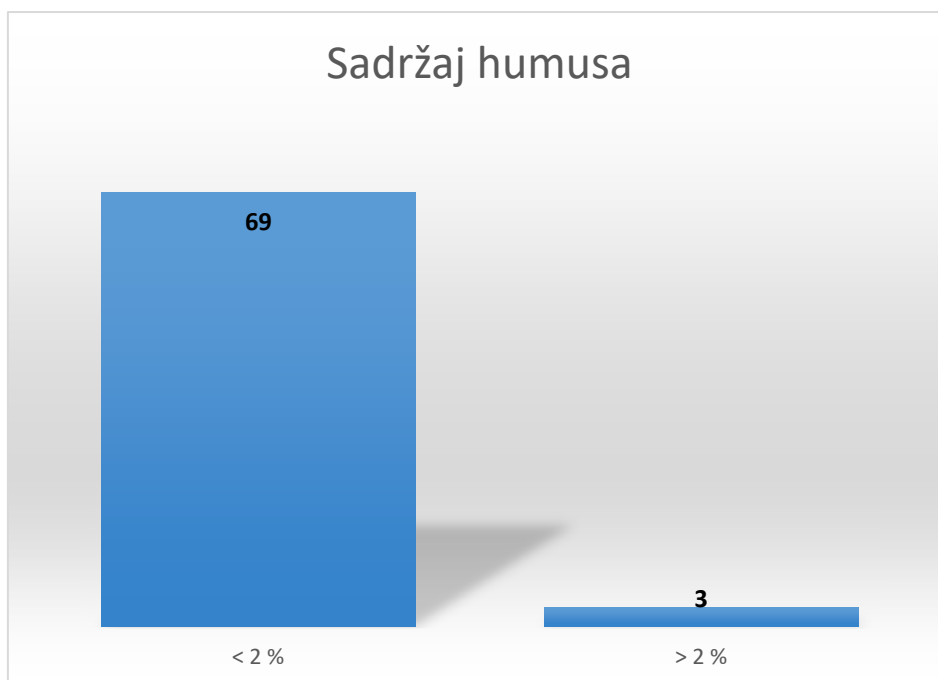
U tablici 4. prikzano je da u kategoriji tla lakše teksture 6 uzoraka je slabo opskrbljeno, 53 uzoraka tla je dobro opskrbljeno, 10 uzoraka je bogato i samo 3 uzorka vrlo bogato opskrbljeno kalijem. U kategoriji srednje teške teksture tla 17 uzoraka tla ima slabu opskrbljenost, 47 uzoraka je dobro opskrbljeno, 7 uzoraka bogato i 1 uzorak vrlo bogato opskrbljen kalijem. Kategorija tla teže teksture ima 27 uzoraka slabo opskrbljeno, 40 uzoraka je dobro opskrbljeno, 5 uzoraka bogato opskrbljeno i niti jedan uzorak nema vrlo bogatu opskrbljenost kalijem.

Grafikon 3. prikazuje ukupan postotni udio opskrbljenosti kalija kod svih uzoraka tla. Pa je tako 0 % vrlo slabo, 37 % slabo, 56 % je dobro, 7 % bogato i 0 % je vrlo bogato opskrbljeno kalijem.



Grafikon 3. Postotni udio K<sub>2</sub>O prema opskrbljenosti ukupnih uzoraka

#### 4.1.3. Sadržaj humusa u tlu



Grafikon 4. Kategorizacija uzoraka prema sadržaju humusa

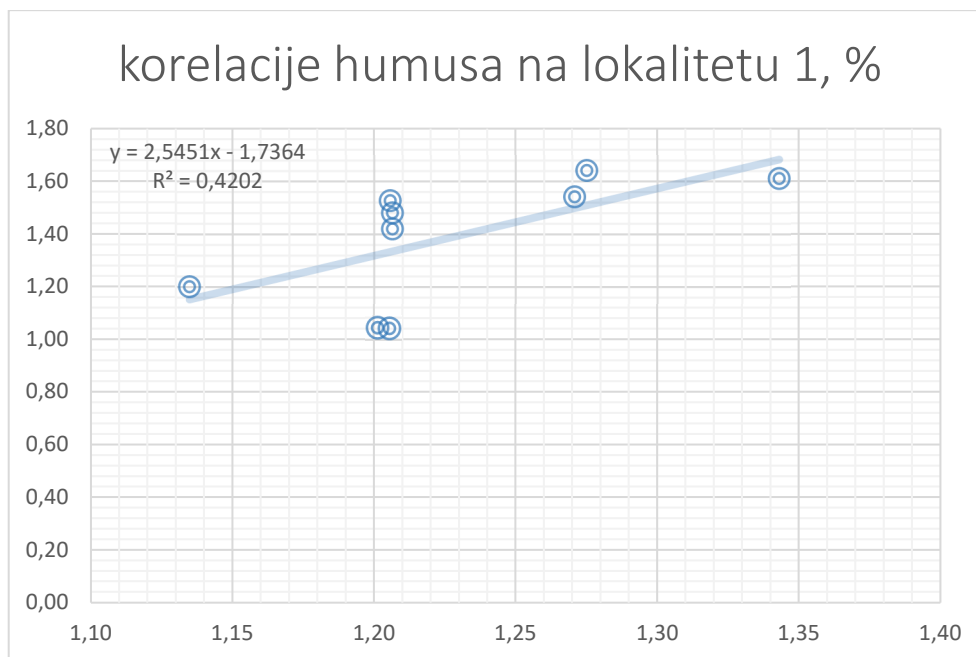
Prema tablici 2. prosječna vrijednost humusa bila je 1,15 % što bi za prosječnu vrijednost značilo da su uzorci u prosjeku slabo humozni. Točnije 69 uzoraka tla pripada u kategoriju slabo humoznih tla (< 2%) što je 95,83 %. Samo 3 uzorka tla pripada u kategoriju dosta humoznih tala (> 2%), a to iznosi 4,16%. U grafikonu 2. vidljiva je distribucija uzoraka prema navedenim podacima.

## 4.2. Korelacija sadržaja humusa utvrđenog različitim metodama na lokalitetu 1

Tablica 5. Korelacija humusa na lokalitetu 1 bikromatnom metodom i CHN analizatorom

	<b>Humus %</b>	<b>Humus %</b>
	<b>bikromatna metoda</b>	<b>CHN analizator</b>
<b>Min</b>	1,13	1,04
<b>Max</b>	1,34	1,64
<b>Prosjek</b>	1,23	1,39
<b>Standardna devijacija</b>	0,06	0,23

Na lokalitetu 1 analiziralo se ukupno 20 uzoraka tla. Na grafikonu 3. prikazana je ukupna korelacija sadržaja humusa dobiveno bikromatnom metodom i CHN analizatorom. Najmanje dobivene vrijednosti sadržaja kod uzoraka tla su 1,13 % humusa izmjereno bikromatnom metodom, kod CHN analizatora najmanja vrijednost iznosi 1,04 % sadržaja humusa. Najveće dobivene vrijednosti sadržaja humusa na grafikonu 3. su 1,34 % humusa dobiveno bikromatnom metodom, najveća dobivena vrijednost kod CHN analizatora je 1,64 % humusa. Veći sadržaj humusa utvrđen je CHN analizatorom, razlika ukupnog sadržaja humusa dobivenih metoda iznosi 1,45 % a rezultati su bili visoko usporedivi sa statistički značajnom korelacijom od  $r = 0,65^*$ .



Grafikon 5. Korelacija sadržaja humusa bikromatnom metodom i CHN analizatorom na lokalitetu 1

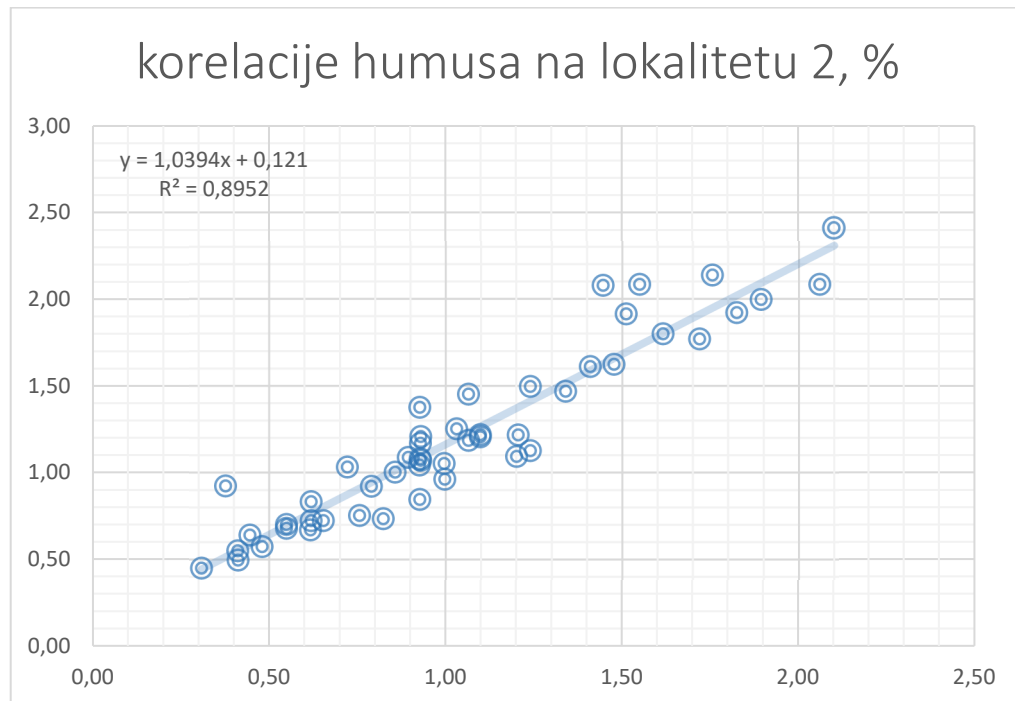
#### 4.3. Korelacija sadržaja humusa utvrđenog različitim metodama na lokalitetu 2

Tablica 6. Korelacija humusa na lokalitetu 2 bikromatnom metodom i CHN analizatorom

	Humus % bikromatna metoda	Humus % CHN analizator
<b>Min</b>	0,31	0,45
<b>Max</b>	2,10	2,41
<b>Prosjeak</b>	1,05	1,21
<b>Standardna devijacija</b>	0,46	0,50

Na lokalitetu 2 analiziran je veći broj uzoraka tla (n=52). Najmanja izmjerena vrijednost sadržaja humusa bikromatnom metodom je 0.31 %. Najmanji izmjereni sadržaj humusa CN analizatorom je 0,45 %. Najveća dobivena vrijednost sadržaja humusa kod bikromatne metode je 2,10 %, dok kod CHN analizatora najveća izmjerena vrijednost sadržaja humusa

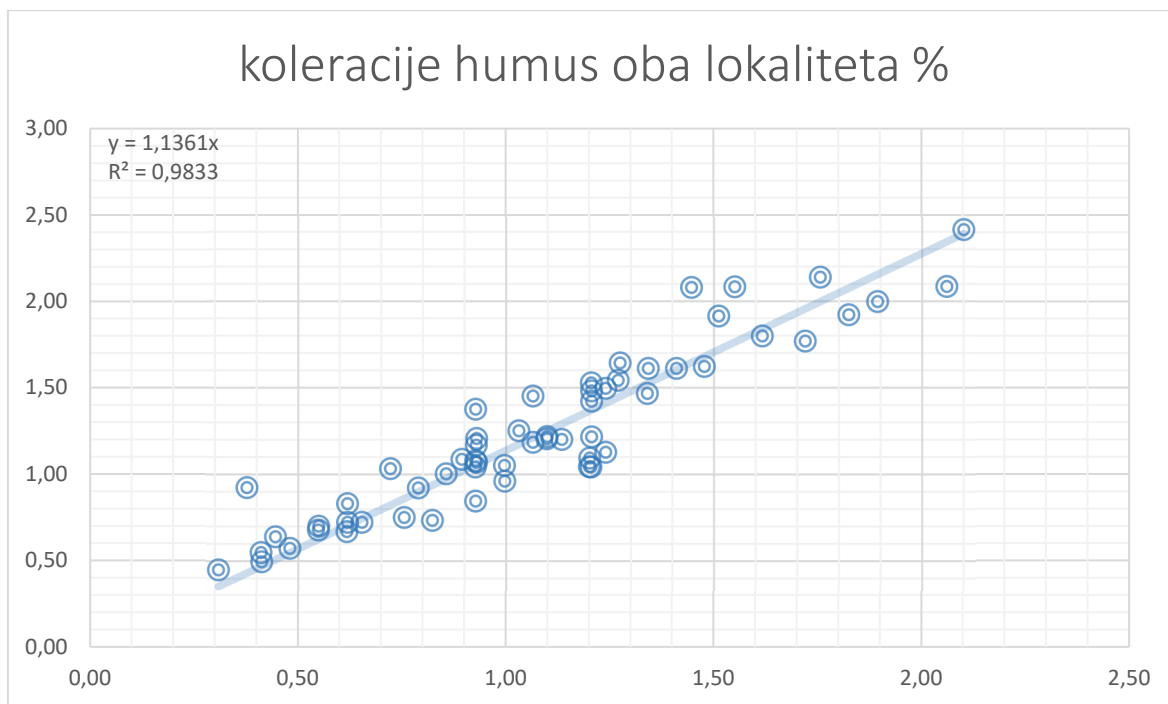
iznosi 2,41 %. Dobiveni rezultati prikazani u grafikonu 4. ukazuju na statistički vrlo značajnu korelaciju između ispitivanih metoda ( $r=0,95^{**}$ ).



Grafikon 6. Korelacija sadržaja humusa bikromatnom metodom i CHN analizatora na lokalitetu 2

#### 4.4. Korelacija sadržaja humusa na lokalitetu 1 i lokalitetu 2

Ukupan zbroj svih analiziranih uzoraka tla na oba lokaliteta bio je 72. Od svih analiziranih uzoraka tla najmanji sadržaj humusa dobiven u bikromatnoj metodi je 0,31% na lokalitetu 2, najmanja dobivena vrijednost CHN analizatora je 0,45 % na lokalitetu 2. Najveći ukupni sadržaj humusa dobivena je bikromatnom metodom je 2,10 % na lokalitetu 2, najveća vrijednost kod CHN analizatora je 2,41 % također na lokalitetu 2. Usporedbom analiziranih rezultata prema dvije metode utvrđena je statistički vrlo visoka korelacija između metoda od  $r=0,93^{**}$ .



Grafikon 7. Korelacija sadržaja humusa bikromatnom metodom i CHN analizatorom na lokalitetu 1 i lokalitetu 2

Prema dobivenim rezultatima i utvrđenim korelacijama možemo reći da je korelacija ispitivanih metoda bila pod utjecajem lokaliteta i broja uzoraka. Naime, na lokalitetu 1 utvrđena je najniža korelacija od  $r=0,65^*$  ali tu je i analizirano više nego duplo manje uzorka od lokaliteta 2 gdje je utvrđena korelacija iznosila  $r=0,95^{**}$ .

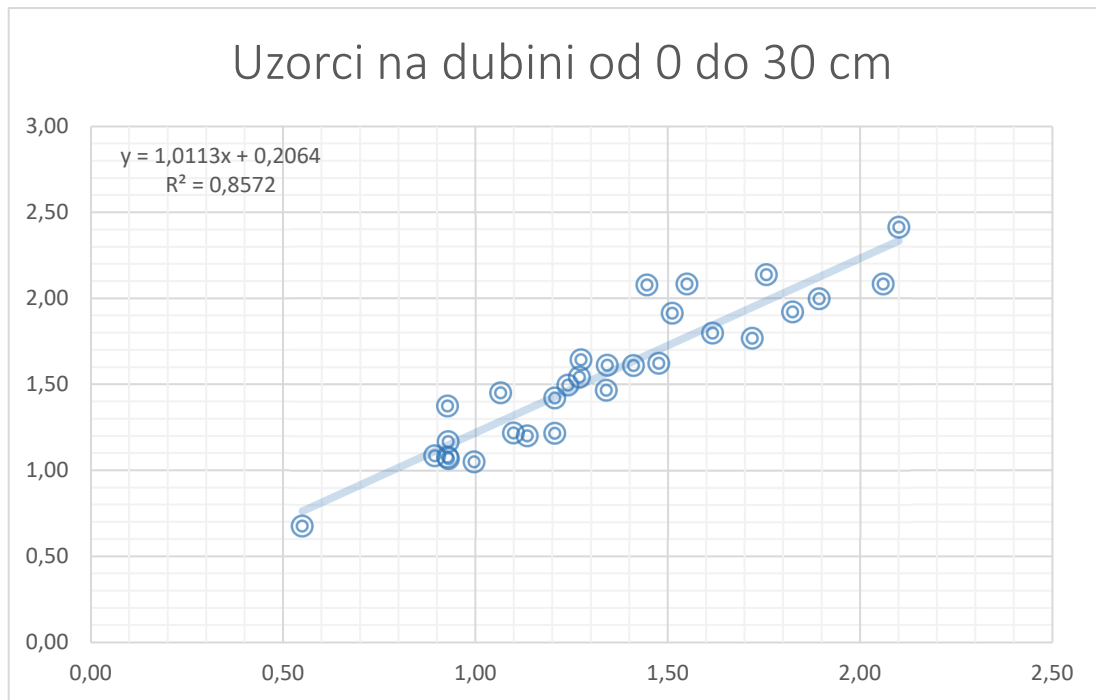
Usporedbom metoda na oba lokaliteta ukazuje nešto manju korelaciju u odnosu na najbolju utvrđenu ( $r=0,95^{**}$ ) i iznosila je  $r=0,93^{**}$ .

#### 4.5. Korelacija sadržaja humusa na oba lokaliteta prema dubini uzorkovanja

Grafikon 8. prikazuje korelaciju sadržaja humusa provedene bikromatnom metodom i CHN analizatorom na dubini od 0 do 30 cm. Najmanji sadržaj humusa analiziran putem bikromatne metode bio je 0,55 %, a najveći sadržaj humusa bikromatnom metodom iznosio je 2,10 %. Najmanji sadržaj humusa analiziran CHN analizatorom bio je 0,68 %, a najveći sadržaj humusa bio je 2,41 %. Prema dobivenim rezultatima veći postotak humusa analiziran je u oba slučaja CHN analizatorom. Razlika kod najmanje vrijednosti je 0,13 % dok razlika

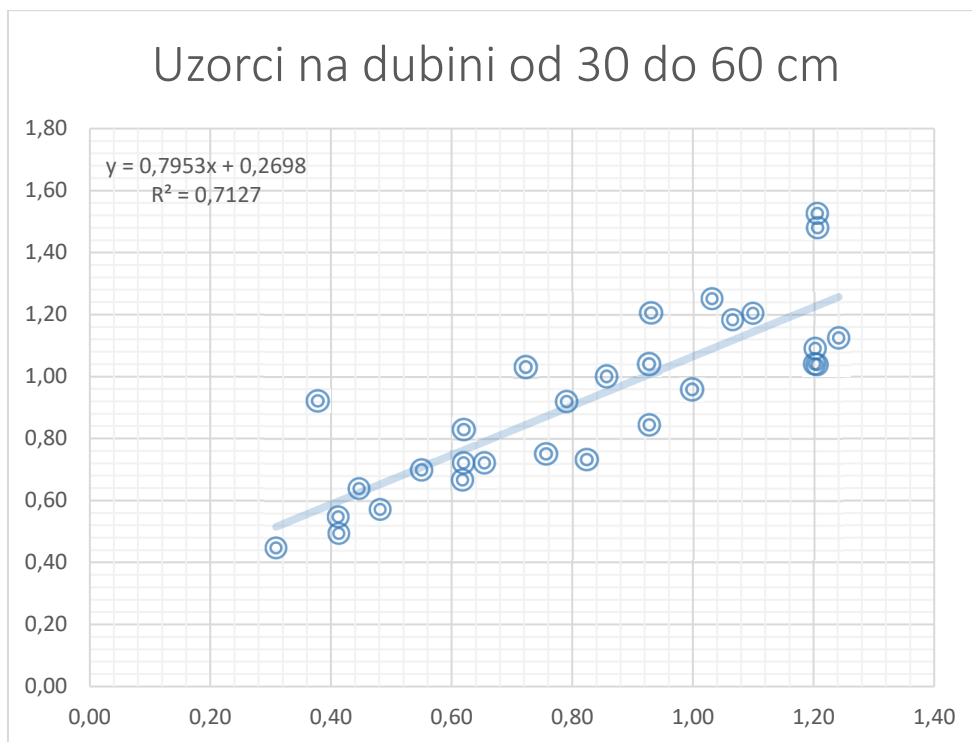


kod najveće vrijednosti iznosi 0,31 %. Usporedbom obje metode na dubini od 0 do 30 cm utvrđena je statistički vrlo značajna korelacija od  $r=0,93^{**}$ .



Grafikon 8. Korelacija sadržaja humusa bikromatnom metodom i CHN analizatorom oba lokaliteta na dubini od 0 do 30 cm

U grafikonu 9. prikazana je korelacija sadržaja humusa bikromatne metode i CHN analizatora na dubini od 30 do 60 cm. Najmanji sadržaj humusa analiziran bikromatnom metodom bio je 0,31 %, dok je najveći sadržaj humusa iznosio 1,24 %. Najmanji sadržaj humusa CHN analizatorom bio je 0,45 %, a najveći sadržaj humusa bio je 1,53 %. Rezultati ukazuju na to da je i na ovoj dubini veći sadržaj humusa utvrđen CHN analizatorom. Razlika najmanje vrijednosti je 0,14 %, a razlika najveće vrijednosti je 0,29 %. Usporedbom obje metode na dubini od 30 do 60 cm utvrđena je statistički vrlo značajna korelacija od  $r=0,84^{**}$ .



Grafikon 9. Korelacija sadržaja humusa bikromatnom metodom i CHN analizatorom oba lokaliteta na dubini od 30 do 60 cm

Dobivene korelacije ukazuju na to da je sadržaj humusa osim utjecaja lokaliteta i broja uzoraka također i pod utjecajem dubine. Utvrđena je veća korelacija na dubini od 0 do 30 cm koja je iznosila  $r=0,93^{**}$ . Korelacija na dubini od 30 do 60 cm bila je nešto manja, a iznosila je  $r=0,84^{**}$ .

## 5. RASPRAVA

### 5.1. Uzorkovanje tla za kemijske analize

Prije samog uzorkovanja tla potrebno je izraditi plan uzorkovanja koji može ovisiti o cilju uzorkovanja tla i vrsti analize koja će se provoditi kao i o veličini čestice, heterogenosti čestice, mikoreljefu, gospodarenju uzorkovanim tlom itd. (Lončarić i sur., 2015.). Tako je i prije provođenja ovog uzorkovanja izrađen plan uzorkovanja na oba lokaliteta, te se uzorkovanje provodilo na dvije dubine (0 – 30 i 30 – 60 cm). Uzorkovanje na dvije dubine općenito se radi kod višegodišnjih nasada što je ovdje i slučaj jer se radi o nasadima vinove loze na oba lokaliteta uzorkovanja.

Jedan prosječan uzorak tla sastavljen je od 20 do 25 pojedinačnih uzoraka ili poduzoraka tla. Uzorci tla mogu se uzimati na više načina: slučajno, nesustavno, sustavno i kontrolno kružno. Masa jednog prosječnog uzorka tla trebala bi biti od 0,5 do 1,0 kilograma. Uzorci su često veći od potrebnoga te se tada uzorak smanjuje „četvrtanjem“ do potrebne količine, tj. težine. (Lončarić i sur., 2015.).

Uzorci su po svim standardima bili pripremljeni za provođenje kemijske analize tla.

### 5.2. Osnovna kemijska svojstva uzoraka tla

#### 5.2.1. pH reakcija uzoraka

Mjerilo kiselosti tla je aktivitet  $H^+$  iona, a to se izražava kao pH vrijednost tla. Tlo se pomoću rezultata analize pH može svrstavati u odgovarajuće klase. Podjela može biti na trenutnu ili supstitucijsku kiselost koja je i češća jer je stabilnija od trenutne (Vukadinović i Lončarić, 1998.).

Spoznaja o pH vrijednosti dolazi još iz 1909. kada je Sorensen (1909.) utvrdio pH kao negativni logaritam  $H^+$  iona. Megadoff i Baetlett (1985.) navode kako je najčešći pH tla iznad 7 ili ispod 4. Rijetki su slučajevi kada je tlo kiselije od pH 4 ili alkalnije od pH 9.

Prema McBride (1994.) pH pomaže razumjeti različite kemijske procese koji se odvijaju u tlu. Pokretljivost iona, oksidacijsko – redukcijski uvjeti tla te raspoloživost kemijskih elemenata samo su jedni od njih.

pH reakcija tla je pokazatelj velikog broja agrokemijskih svojstava tla. Redoks potencijal pH vrijednosti tla određen je mineralnim i organskim dijelom tla. pH je jedno od najbitnijih svojstava tla jer kontrolira kemijska, biološka i fizikalna svojstva tla (Vukadinović i Lončarić, 1998.).

Analiza pH vrijednosti pokazala je povoljan pH za vinovu lozu, to pokazuje da se radi i o dobrim fizikalnim svojstvima tla. Dobra fizikalna svojstva tla pospješuju biološku razgradnju i obrnuto. Mikrobiološka aktivnost se direktno veže na količinu organske tvari, tj. sadržaj humusa u tlu.

Rezultati mjerena supstitucijske kiselosti (pHKCl) su pokazali da se najveći dio uzoraka (grafikon 1.) može svrstati u jako kisela tla (4-5). S obzirom na to da se radi o tlu na kojemu je posađena vinova loza može se reći da je pH vrijednost pogodna za njen uzgoj. Iako vinova loza bolje uspijeva na slabije kiselom tlu, tolerira se raspon od 5,0 do 8,0 pH vrijednosti.

#### *5.2.2. Sadržaj lakopristupačnog fosfora i kalija*

Sadržaj fosfora i kalija utvrđena je putem AL-metode koja se temelji na ekstrakciji lakopristupačnog fosfora i kalija pomoću puferske otopine amonijevog laktata koji ima pH 3,75.

AL-metodu je potrebno kalibrirati da bi mogli utvrditi granične vrijednosti jer lakopristupačna hraniva teže definiramo u fizikalno – kemijskom aspektu (Đurđević, 2014.).

Biljkama lakoprstupačni kalij je njegov vodotopivi oblik i sorbirani oblik koji j izmjenjiv. Lakopristupačni fosfor je oblik fosfora koji ima mogućnost prelaska u otopine slabijih kiselina, a može i pufera ili soli. Pojava nedostatka kalija i fosfora je česta jer su to elementi koje biljka iznosi u većim količinama, pa se tako preporučuje redovito praćenje i provođenje pravilne gnojidbe. Fosfor može biti organsko ili anorgansko vezan u tlu. Prosječan sadržaj anorganskog fosfora je između 40 i 80 %, dok sadržaj sveukupnog organskog fosfora se kreće od 20 do 60% (Đurđević, 2014.).

Nakon analize uzoraka i njihovog svrstavanja u granične vrijednosti (tablica 3.), najveći broj uzoraka (20) koji je imao pH <6 pripada tlima koja su slabo opskrbljena fosforom. Važno je napomenuti da je tek mala razlika između vrlo slabe opskrbljenosti fosforom jer je u tu klasu pripadalo 19 uzoraka. Dobra i vrlo dobra opskrbljenost fosforom vidljiva je tek kod 4 uzorka kod pH ≥6.

Najveći broj uzoraka (tablica 4.) svrstava se u tla koja su dobro opskrbljena kalijem. Kod tla s lakšom teksturom pripada 53 uzorka tla, kod tla sa srednje teškom teksturom 47 uzoraka i kod tla teže teksture 40 uzoraka tla.

### 5.2.3.. Sadržaj humusa u uzorcima tla

Humus je sav mrtvi organski dio koji nalazimo u tlu. Humus je koloidna amforna organska tvar koja je tamne ili crne boje. Predstavlja kemijsku smjesu visokomolekularnih koloidnih organskih spojeva. Humus nastaje djelovanjem mikroorganizama tla koji u procesu humifikacije razgrađuju ostatke uginulih biljaka i životinja. Važnost humusa je u tome što sadrži nutrijente koji djeluju na poboljšanje fizičkih svojstava tla: bolje zadržavanje vode, poboljšanje strukture i teksture tla (Funako, 2005.).

Tan (1998.) navodi da je humus vrlo stabilan kompleks. Nastaje kao krajnji produkt nakon procesa dekompozicije, velikih je molekularnih supstanci od kojih su primarne humusne i fulvo kiseline.

Stevenson (1982.) definira humus poput zbroja organskih komponenti u tlu. Također navodi kako humus ima višestruku ulogu u sastavu tla. Intenzivnom obradom tla ubrzava se razgradnja organske tvari u tlu, pa tako opada i sadržaj humusa.

Prema Vukadinoviću i Bertiću (1989.) brojne su metode kojima se može utvrditi sadržaj humusa u tlu. Navode kako je jedna od najčešće korištenih metoda upravo bikromatna metoda. Pri spaljivanju organske tvari tla K-bikromatom nastaje sljedeća reakcija:



Mebius (1960.) kako je organsku tvar moguće rutinski procijeniti tako što se mjeri organski sadržaj ugljika. Navodi kako je bikromatna metoda također najčešća metoda i kako je upravo takva metoda prilagođena brzom laboratorijskom testiranju.

Raspoloživost hraniva uvelike ovisi o humoznosti tla. Veći sadržaj humusa uzrokuje: veći KIK, tj. kationski izmjenjivački kompleks i veću pufersku sposobnost. Veća humoznost smanjuje fiksaciju fosfora i mikroelemenata pa raste mineralizacija tj. povećava se godišnji sadržaj dušika koji nastaje razgradnjom humusa (Lončarić i Karalić, 2015.).

Bašić i Herceg (2010.) dokazali su da sadržaj humusa indirektno ovisi o kalcizaciji tla. Proces kalcizacije prepoznat je u svijetu i postoje razna istraživanja o različitom učinku procesa kalcizacije na sadržaj organskog oblika ugljika u tlu. Ako se proces kalcizacije

primjenjuje usporedno s gnojivima tada dolazi do smanjenja koncentracije sadržaja organskog ugljika u tlu (Paradelo, 2015.).

Chan i Heenen (1999.) utvrđuju da je kalcizacijom smanjen sadržaj organskog ugljika kod crvenice za 13%, što je u prosjeku 3,6 t C/ha tri godine nakon primjene kalcizacije.

Bikromatnom metodom mjeri se koncentracija organskog ugljika. Mjeri se spektrofotometrijski na valnoj duljini koja iznosi 585  $\mu\text{m}$ . Škorić (1992.) navodi da humus prosječno sadržava 58% C. Ukupan rezultat je koncentracija organskog ugljika koji se preračuna na sadržaj humusa koeficijentom koji iznosi 1,724. Dobiveni rezultat prikazuje se u postotnom obliku (Lončarić, 2009.).

Novonastale klimatske promjene bitne su u procesima razgradnje organske tvari. Promjene kao što su porast temperature i količine oborina dovode do ubrzavanja degradacijskih procesa. Navede promjene ubrzavaju aktivitet mikroorganizama te je tako proces humifikacije brži (Buchman i Brady, 1960.).

Analizom humusa utvrđena je slaba humoznost (grafikon 2.) kod 69 uzoraka tla koji imaju manje od 2% sadržaja humusa. Tek 3 uzorka tla imaju nešto veći sadržaj od 2%.

### *5.2.3. Ukupan sadržaj dušika*

Tan (1998..) navodi kako je u tlu zastupljeno dva primarna oblika dušika. Postoji organski N i anorganski N. Za potrebe provođenja kemijskih analiza bitno je razlikovati i treći oblik dušika koji se naziva ukupni N.

Ukupni N se definira kao zbroj organskog i anorganskog oblika u tlu. Anorganski dušik se u tlu najčešće nalazi u nitratnom ( $\text{NO}_3^-$ ) i amonijskom obliku ( $\text{NH}_4^+$ ) (Keeney i Nelson, 1982.).

Provođenjem CHN analize sadržaja ugljika utvrđen je i sadržaj ukupnog dušika. Minimalna vrijednost sadržaja dušika na svim uzorcima tla iznosila je 0,02 %, maksimalna vrijednost iznosila je 0,14% dok je sveukupna prosječna vrijednost bila 0,06 %.

#### *5.2.4. Korelacija sadržaja humusa na oba lokaliteta*

Korelacije koje su utvrđene usporedbom rezultata sadržaja organske tvari-humusa u ovom istraživanju potvrđuju hipotezu o visokoj kompatibilnosti dvije istraživane metode ( $r=0,93^{**}$ ). Naime, QA/QC izmjereni CHNS morao bi biti unutar 0,40% apsolutno izračunatih vrijednosti. Kako bi se osigurali što točniji rezultati, uzorci se ispituju dva puta. Certificirani standardi se izvode na svaka dva uzorka kako bi se osiguralo da kalibracijska krivulja nije pomaknuta.

Svi korišteni standardi su certificirani organski analitički standardi kupljeni od Elemental Microanalysis.

Veći sadržaj humusa utvrđen je pomoću CHN analizatora na oba lokaliteta. To dokazuje i prosječna vrijednost uzoraka koja je veća kod uzoraka analiziranih pomoću CHN analizatora (tablica 5. i tablica 6.).

Međutim, utvrđene korelacije na oba ispitivana lokaliteta bile su pod utjecajem lokaliteta, ali ponajviše brojem uzoraka što je i bilo za očekivati.

S obzirom na dubinu uzorkovanja, veći sadržaj humusa utvrđen je kod uzoraka na dubini od 0 do 30 cm, dok je na dubini od 30 do 60 cm bilo nešto manje sadržaja humusa (grafikon 8. i grafikon 9.). Možemo zaključiti da se veći sadržaj humusa nalazi upravo na dubini do 30 cm gdje se nalazi i humusno-akumulativni horizont tla. Prema dobivenim rezultatima također možemo zaključiti da sadržaj humusa opada porastom dubine zbog smanjenja mikrobiološke aktivnosti.

Zanimljivo je povezati dobivene rezultate sa sadržajem ukupnog dušika u tlu tj. ukupnog mineraliziranog dušika u tlu koji je pod utjecajem sadržaja humusa u tlu i pH reakcije tla. Naime, povezanost pH reakcije tla i intenziteta mineralizacije N u tlu pokazuju rezultati istraživanja Karalić i sur. (2016.) prema kojima su najpovoljniji uvjeti reakcije tla za proces mineralizacije nitratnog dušika bili pri slabo kiseloj pH vrijednosti (u KCl) 5,5 do 6,5, a najnepovoljniji pri  $pH < 4,5$ .

Ovo predstavlja dobru točku za daljnji nastavak istraživanja i usporedbe podataka dobivenih u ovom diplomskom radu.

## 6. ZAKLJUČAK

Analiziranim uzorcima raspon supstitucijske kiselosti kretao se od izrazito kiselog do slabo alkalnih tala pri čemu je kategorija jako kiselih tala bila najzastupljenija s 65,27% uzoraka. Koncentracije fosfora AL-metodom u analiziranim uzorcima imale su raspon od slabo opskrbljenih do vrlo bogatih tala, međutim najveći broj uzoraka bio je u kategoriji vrlo slabo i slabo opskrbljenih fosforom.

U analiziranim uzorcima koncentracije kalija određenog AL-metodom kretale su se od slabo opskrbljenih do vrlo bogato opskrbljenih tala, a najveći broj uzoraka pripadao je kategoriji dobro opskrbljenih tala kalijem.

Prosječna vrijednost humusa u analiziranim uzorcima bila je 1,15 % tj pripada je u kategoriju slabo humoznih tala.

Usporedba dviju analiziranih metoda pokazala je visoku korelaciju između utvrđenih metoda  $r=0,93^{**}$  što ukazuje na mogućnost da se metoda utvrđivanja sadržaja organske tvari tla-humusa bikromatnom metodom u laboratorijskoj praksi zamijeni metodom analize na CHN analizatoru. Naime, bikromatna metoda predstavlja metodu koja je potencijalno opasna za ljudsko zdravlje i podrazumijeva osiguravanje posebnih uvjeta rada dok je metoda na CHN analizatoru metoda koja je lišena takvih uvjeta.

Sukladno zakonskoj legislativi veznoj uz tlo u Republici Hrvatskoj bikromatna metoda ima prednost i upravo ovakva istraživanja mogu doprinijeti usklađivanju zakonske legislative u pravcu uvođenja novih metoda koje jamče sigurnost i točnost rezultata, a ne predstavljaju opasnost po zdravlje analitičara.



## 7. POPIS LITERATURE

1. Bateni, C., Ventura, M., Tonon, G., Pisanelli, A. (2021.): Soil carbon stock in olive groves agroforestry systems under different management and soil characteristics. Dostupno na: <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00367-7>
2. Bašić, F., Herceg, N. (2010.): Temelji uzgoja bilja
3. 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 CO<sub>2</sub> sequestration to manage global warming – With the emphasis on developing countries. Dostupno na: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148169>.
4. Bišćević C., Motik B. (2015.): Zeleni alati, Briga o tlu
5. Bilandžija D.; Zgorelec Ž.; Kisić I. (2014.): Soil Carbon Loss by Soil Respiration under Different Tillage Treatments
6. Buckman, H.O., Brady, N.C. (1960.): The nature and properties of soils. Macmillian, New York
7. Chan, K. Y., Heenan, D. P. (1999.): Lime – induced loss of soil organic carbon and effect on aggregate stability
8. 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. Dostupno na: <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01744-y>
9. Đurđević B. (2014.): Praktikum iz ishrane bilja
10. Egner, H., Riehm, H., and Domingo, W.R. (1960.) Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Boden, II: Chemische Extraktionsmethoden zu Phosphor- und Kaliumbestimmung.
11. Fanuko N. (2005.): Ekologija
12. Godec R. (2008.): Carbon in particulate matter in the air
13. 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*. Dostupno na: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00913>

14. Kane, D. (2015.): Carbon Sequestration Potential on Agricultural Lands: A Review of Current Science and Available Practices. Dostupno na: <http://sustainableagriculture.net/publications>
15. Karalić, K. (2010.): Utvrđivanje potrebe u kalcizaciji i utjecaj kalcizacije na status hraniva u tlu, doktorska disertacija. Sveučilište J.J.Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet u Osijeku.
16. Keeney, D.R., and Nelson, D.W. (1982.): Nitrogen-Inorganic forms. p. 643- 698. In A.L. Page et al. (ed.) Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
17. Karalić, K. (2015.): Kondicioneri (poboljšivači) tala. U: Lončarić, Z. (ur.), Mineralna gnojiva i gnojidba ratarskih kultura
18. Lal R. (2004.): Soil carbon sequestration to mitigate climate change.
19. Lončarić Z.; Rastija D.; Karalić K.; Popović B.; Đurđević B.; Engler M. (2007.): Mineralna gnojidba fosforom i kalcizacija: II. Promjene kemijskih osobina tla.
20. Lončarić, Z. (2009.): Određivanje sadržaja humusa u tlu bikromatnom metodom, Program vještbi iz kolegija Analize tla i gnojiva
21. Lončarić Z. i sur. (2015.): Doprinos poljoprivrede čistom okolišu i zdravoj hrani
22. McBride, M.B. (1994.): Environmental chemistry of soils. Oxford University Press, New York
23. Mebius, L.J. (1960.): A rapid method for the determination of organic carbon in soil. Anal Chim
24. Meena, R.S., Kumar, S., Singh Yadav, G. (2020.): Soil Carbon Sequestration in Crop Production u Nutrient Dynamics for Sustainable Crop Production. Dostupno na: <https://doi.org/10.1007/978-981-13-8660-2>
25. Neda Funako (2005.): Ekologija
26. 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. Dostupno na: <https://doi.org/10.1007/s42965-019-00047-8>
27. Paradelo, R., Virto, I., Chenu, C. (2015.): Net effect of liming on soil organic carbon stocks- a review, Agriculture, Ecosystems and Environment
28. Stevenson, F.J. (1982.): Humus chemistry genesis, composition, reactions. Willey Interscience, New York.
29. Tan, K.H., (1998.): Colloidal chemistry of organic soil constituents. In: Tan, K.H., (Ed.), Principles of Soil Chemistry, Marcel Dekker, New York.

30. Udovičić M., Baždarić K., Bilić L., Petrovečki M. (2007.): Što treba znati kada izračunavamo koeficijent korelacije?
31. Ussiri, D.A.N., Lal R. (2009.): Long-term tillage effect on soil carbon storage and carbon dioxide emissions in continuous corn cropping system from an alfalfa soil in Ohio.
32. S. P. L. Sørensen (1909.): O mjerenju i važnosti koncentracije vodikovih iona u enzimskim procesima
33. Škorić, A. (1992.) : Sastav i svojstva tla
34. Vukadinović, V., Bertić, B. (1989.): Praktikum iz agrokemije i ishrane bilja.
35. Vukadinović V. (2022.): Umjetna inteligencija i hiperspektralna analiza ugljika u tlu
36. Vukadinović, V., Lončarić, Z. (1998.): Ishrana bilja
37. 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.

## 8. SAŽETAK

Modernizacijom poljoprivredne proizvodnje koja je jedna od bitnih egzistencijalnih i prvih ljudskih djelatnosti, također ima najbitniju ulogu u proizvodnji hrane za globalnu populaciju. Sve većim širenjem poljoprivredne proizvodnje i njenim ubrzavanjem čovjek postaje glavni krivac za smanjenje sadržaja organske tvari, tj. tim i sadržaja ugljika u tlu. Ugljik se u tlo unosi organskom tvari koja predstavlja svojevrsno skladište ugljika i time postaje najveća zaliha ugljika u tlu. Ugljik je pokazatelj kvalitete i zdravlja agroekosustava i određenog tla na kojemu se odvija poljoprivredna proizvodnja.

Cilj rada je usporediti sadržaj ugljika u tlu. Rad je proveden kroz laboratorijsko istraživanje putem dvije metode: bikromatna metoda (ISO standard) i metoda analize tla na CHN analizatoru. Uzorci su u korelaciji. Veći sadržaj humusa utvrđen je pomoću CHN analizatora na oba lokaliteta (Drenje i Kutjevo). To dokazuje i prosječna vrijednost uzoraka koja je veća kod uzoraka analiziranih pomoću CHN analizatora. Između obje metode utvrđena je statistički značajna korelacija  $r=0,93^{**}$ .

## 9. SUMMARY

By modernizing agricultural production, which is one of the essential existential and first human activities, it also plays the most important role in the production of food for the global population. With the increasing expansion of agricultural production and its acceleration, man becomes the main culprit for reducing the content of organic matter, i.e. therefore also the carbon content in the soil. Carbon is introduced into the soil by organic matter, which represents a kind of carbon storage and thus becomes the largest stock of carbon in the soil. Carbon is an indicator of the quality and health of the agro-ecosystem and the specific soil on which agricultural production takes place.

The aim of the work is to compare the carbon content in the soil. The work was carried out through laboratory research using two methods: the bichromate method (ISO standard) and the soil analysis method on the CHN analyzer. The samples are correlated. A higher content of humus was determined using a CHN analyzer in both localities (Drenje and Kutjevo). This is proven by the average value of the samples, which is higher in the samples analyzed using the CHN analyzer. A statistically significant correlation of  $r=0.93^{**}$  was established between both methods.

## 10. POPIS TABLICA

Tablica 1. Osnovna kemijska svojstva analiziranih uzoraka tla.....	15
Tablica 2. Minimalna, maksimalna i prosječna vrijednost osnovnih kemijskih svojstava tla .....	17
Tablica 3. Sadržaj lakopristupačnog fosfora .....	19
Tablica 4. Sadržaj lakopristupačnog kalija.....	20
Tablica 5. Korelacija humusa na lokalitetu 1 bikromatnom metodom i CHN analizatorom .....	23
Tablica 6. Korelacija humusa na lokalitetu 2 bikromatnom metodom i CHN analizatorom .....	24

## 11. POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Kategorizacija uzoraka tla prema kiselosti (pH KCl)	<b>Pogreška!</b>	<b>Knjižna oznaka nije definirana.</b>
Grafikon 2. Postotni udio P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> prema opskrbljenosti ukupnih uzoraka.....		20
Grafikon 3. Postotni udio K <sub>2</sub> O prema opskrbljenosti ukupnih uzoraka.....		21
Grafikon 4. Kategorizacija uzoraka prema sadržaju humusa .....		22
Grafikon 5. Korelacija sadržaja humusa bikromatnom metodom i CHN analizatorom na lokalitetu 1 .....		24
Grafikon 6. Korelacija sadržaja humusa bikromatnom metodom i CHN analizatora na lokalitetu 2 .....		25
Grafikon 7. Korelacija sadržaja humus bikromatnom metodom i CHN analizatorom na lokalitetu 1 i lokalitetu 2 .....		26
Grafikon 8. Korelacija sadržaja humusa bikromatnom metodom i CHN analizatorom oba lokaliteta na dubini od 0 do 30 cm.....		27
Grafikon 9. Korelacija sadržaja humusa bikromatnom metodom i CHN analizatorom oba lokaliteta na dubini od 0 do 30 cm.....		28

## **12. POPIS SLIKA**

Slika 1. Prikaz količine ugljika u tlu s obzirom na način obrade tla .....	8
Slika 2. Prikaz hiperspektralne analize sadržaja ugljika u tlu .....	9
Slika 3. Usporedba organskog tla i tla konvencionalne obrade.....	11



## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Diplomski rad

Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Sveučilišni diplomski studij bilinogojstva, smjer Ishrana bilja i tloznanstvo

Komparativne metode za određivanje sadržaja ugljika u tlu

Stela Kelčić

**Sažetak:** Ugljik se u tlo unosi organskom tvari koja predstavlja svojevrsno skladište ugljika i time postaje najveća zaliha ugljika u tlu. Ugljik je pokazatelj kvalitete i zdravlja agroekosustava i određenog tla na kojemu se odvija poljoprivredna proizvodnja. Cilj rada je usporediti sadržaj ugljika u tlu. Rad je proveden kroz laboratorijsko istraživanje putem dvije metode: bikromatna metoda (ISO standard) i metoda analize tla na CHN analizatoru. Uzorci su u korelaciji. Veći sadržaj humusa utvrđen je pomoću CHN analizatora na oba lokaliteta (Drenje i Kutjevo). To dokazuje i prosječna vrijednost uzoraka koja je veća kod uzoraka analiziranih pomoću CHN analizatora. Između obje metode utvrđena je statistički značajna korelacija  $r=0,93^{**}$ .

**Rad je izrađen pri:** Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

**Mentor:** prof. dr. Brigita Popović

**Broj stranica:** 42

**Broj grafikona i slika:** 12

**Broj tablica:** 6

**Broj literaturnih navoda:** 37

**Broj priloga:**

**Jezik izvornika:** Hrvatski

**Ključna riječ:** ugljik, humus, korelacija, bikromatna metoda, CHN analizator

**Datum obrane:**

**Stručno povjerenstvo za obranu:**

1. izv. prof. dr. sc. Vladimir Ivezić, predsjednik
2. prof. dr. Brigita Popović, mentor
3. doc. dr. Vladimir Zebec, član

**Rad je pohranjen u:** Knjižnica fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek, Sveučilište u Osijeku, Vladimira Preloga 1.

## **BASIC DOCUMENTATION CARD**

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek**

**Graduate thesis**

**Faculty of Agrobiotechnical sciences Osijek**

**University Graduate Studies, Plant production, course Plant nutrition and soil science**

Comparative methods for determining the carbon content in soil

Stela Kelčić

**Abstract:** Carbon is introduced into the soil by organic matter, which represents a kind of carbon storage and thus becomes the largest stock of carbon in the soil. Carbon is an indicator of the quality and health of the agro-ecosystem and the specific soil on which agricultural production takes place. The aim of the work is to compare the carbon content in the soil. The work was carried out through laboratory research using two methods: the comparative method (ISO standard) and the soil analysis method on the CHN analyzer. The samples are correlated. A higher content of humus was determined using a CHN analyzer in both localities (Drenje and Kutjevo). This is proven by the average value of the samples, which is higher in the samples analyzed using the CHN analyzer. A statistically significant correlation of  $r=0.93^{**}$  was established between both methods.

**Thesis performed at:** Faculty of Agrobiotechnical sciences Osijek

**Mentor:** prof. dr. Brigita Popović

**Number of pages:** 42

**Number of figures:** 12

**Number of tables:** 6

**Number of references:** 37

**Number of appendices:**

**Original in:** Croatian

**Key words:** carbon, humus, correlation, bichromate method, CHN analyzer

**Thesis defended on date:**

**Reviewers:**

1. izv. prof. dr. sc. Vladimir Ivezić, chair
2. prof. dr. Brigita Popović, mentor
3. doc. dr. Vladimir Zebec, member

**Thesis deposited at:** Library, Faculty of Agrobiotechnical sciences Osijek Josip Juraj Strossmayer University Vladimira Preloga 1.