

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

Vedran Znamenáček, student

Diplomski studij Bilinogojstvo

Modul Biljna proizvodnja

**UTJECAJ KONZERVACIJSKE OBRADBE TLA, GNOJIDBE I KALCIZACIJE NA**  
**ODREĐENA KEMIJSKA SVOJSTVA TLA**

**Diplomski rad**

**Osijek, 2024.**

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Vedran Znamenacek, student

Sveučilišni diplomski studij Bilinogojstvo

Modul Biljna proizvodnja

**UTJECAJ KONZERVACIJSKE OBRADBE TLA, GNOJIDBE I KALCIZACIJE NA  
ODREĐENA KEMIJSKA SVOJSTVA TLA**

**Diplomski rad**

Povjerenstvo za obranu i ocjenu diplomskog rada:

1. Prof. dr. sc. Irena Jug, predsjednik
2. Prof. dr. sc. Boris Đurđević, mentor
3. Prof. dr. sc. Danijel Jug, član

**Osijek, 2024.**

Diplomski rad je napisan u okviru HRZZ projekta:  
"Procjena konzervacijske obrade tla kao napredne  
metode uzgoja usjeva i prevencije degradacije tla –  
ACTIVEsoil" (Broj projekta: IP-2020-02-2647)

Voditelj HRZZ projekta: prof. dr. sc. Danijel Jug

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. PREGLED LITERATURE .....	2
2.1. Konvencionalna obrada tla.....	2
2.2. Konzervacijska obrada tla .....	5
2.3. Degradacija tla .....	7
2.3.1. Erozija tla vodom.....	7
2.3.2. Klimatske promjene i konzervacijska obrada tla.....	9
2.4. Gnojidba.....	10
2.5. Kalcizacija.....	12
2.6. Kationski izmjenjivački kapacitet .....	14
3. MATERIJALI I METODE.....	15
4. REZULTATI .....	17
4.1. Rezultati analize tla na dubini 0-15 cm .....	17
4.2. Rezultati analize tla na dubini 15-30 cm.....	20
5. RASPRAVA.....	24
6. ZAKLJUČAK .....	27
7. LITERATURA .....	28
8. SAŽETAK .....	31
9. SUMMARY.....	32
10. POPIS TABLICA.....	33
11. POPIS SLIKA.....	34
12. POPIS GRAFIKONA.....	35
TEMELJNA DOKUMENTACIJA KARTICA	
BASIC DOCUMENTATION CARD	

## 1. UVOD

Konzervacijska obrada tla (CT) predstavlja ključni korak prema održivoj budućnosti poljoprivrede. Promiče održivost u biljnoj proizvodnji, smanjuje eroziju, ublažava klimatske promjene i značajno doprinosi većoj raspoloživosti esencijalnih elemenata u tlu (ušteta poljoprivrednicima) (Jug i sur., 2018.). Tri su primarna stupa konzervacijske obrade tla: 1. minimalno narušavanje tla - reduciranjem zahvata obrade tla u uzgoju usjeva.; 2. permanentna pokrivenost tla zadržavanje žetvenih ostataka na površini tla najmanje 30 % biljnih ostataka koji su zaostali nakon žetve; 3. rotacija usjeva - rotacijom usjeva poljoprivrednici mogu dodatno poboljšati zdravlje tla, smanjiti rizik od štetočina i bolesti te održavati uravnotežen ciklus hranjivih tvari (Jug i sur., 2023.; FAO, 2016.). Iako postoje izazovi povezani s ovim pomakom u poljoprivrednim praksama, dugoročne koristi u smislu ekološke održivosti i otpornosti čine konzervacijsku obradu tla uvjerljivim izborom. Zdravlje tla i klimatske promjene usko su povezani, a razumijevanje načina na koji konzervacijska obrada tla utječe na navedene ključne faktore u poljoprivrednoj proizvodnji vrlo je važna informacija u kontekstu održive poljoprivrede i odgovornosti prema okolišu (smanjenjem potrošnje energije) (Hatano i Lipiec, 2004.). Takvim pristupom možemo povoljno djelovati na niz važnih indikatora zdravlja tla kao što su pH, sadržaj organske tvari i kationski izmjenjivački kapacitet (Ligang i sur., 2023.). U usporedbi s konvencionalnim metodama obrade tla, konzervacijska obrada je energetska učinkovitija. Smanjena potreba za teškim strojevima i potrošnja goriva nisu samo ekonomski korisni, već i ekološki odgovorni, s obzirom na povezano smanjenje emisija ugljika. Puni potencijal koji nam donosi konzervacijska obrada tla dostiže se u kombinaciji s različitim strategijama gnojidbe i metodama popravaka tla (kalcizacije, humizacije i drugo). S obzirom na navedene pozitivne učinke konzervacijske obrade tla na zdravlje tla te ublažavanje klimatskih promjena cilj ovog rada je utvrditi učinak različitih sustava obrade tla, kalcizacije i gnojidbe tla na tri ključna indikatora zdravlja tla - pH vrijednost tla, organski ugljik u tlu (SOC) i kationski izmjenjivački kapacitet (KIK).

## 2. PREGLED LITERATURE

### 2.1. Konvencionalna obrada tla

Na prostoru Republike Hrvatske, posebice na manjim poljoprivrednim gospodarstvima, najčešće se tlo obrađuje na konvencionalan način, odnosno osnovna obrada tla plugom, (slika 1.), nakon kojega slijedi dopunska obrada tla tanjuračem, drljačem, sjetvospremačem ili nekim drugim oruđem (slika 2.).



Slika 1. Oranje lemešnim plugom



Slika 2. Dopunska obrada tla rotodrljačom

Konvencionalna obrada tla je vrlo intenzivan sustav obrade, koji pokazuje značajne nedostatke kao takav osobito u vrijeme sve izraženijih klimatskih promjena odnosno kada sve više imamo sušnih uvjeta u ljetnim mjesecima te vrlo intenzivne oborine u zimskom razdoblju, ali i s izraženim ekstremima koji se javljaju tijekom godine (Jug i sur., 2023.). Također, pojavljuje se problem i s erozijom tla jer tlo nije pokriveno biljnim ostacima ili pokrovom te nema zaštitu. Kada na površini tla imamo žetvene ostatke ili usjev uvelike se smanjuje udarna snaga kapljica vode na tlo u odnosu na golo tlo, budući da brzina kojom kapljica udara o tlo je dovoljno jaka da odvaja čestice tla, te uslijed veće količine padavina dolazi do nakupljanja vode na površini tla jer se ne stigne sva količina vode infiltrirati u tlo i odnošenja dijela tla na nagnutim terenima. Učestalim oranjem na istu dubinu dolazi do pojave tabana pluga koji kao takav biljka svojim korijenskim sustavom ne može probiti te

tu dolazi do poremećaja kapilariteta, a u slučaju većih oborina, voda se ne može infiltrirati dublje u tlo, nego ostaje na površini tla, te na tome mjestu dolazi do propadanja usjeva uslijed duljeg zadržavanja vlage. Obrada se obavlja mehanizacijom sve veće mase, gdje dolazi i do povećanog zbijanja tla, također učestali prohodi dovode do postupne degradacije tla. Sustavno degradiranje tla dovodi do smanjenja njegove razine iskoristivosti, a ujedno i same razine organske tvari tla u tlu koja uz niz važnih uloga predstavlja i stanište za biološku floru i faunu tla (Kovaček, 2023.) Konvencionalna obrada tla ima prednost jer ne zahtjeva skupu mehanizaciju poput sijačica za *no-till* sjetvu, smanjuje pritisak korova na biljke i samim time upotrebu pesticida, budući da se korovi jednostavno zaoravaju čime se prekida njihov životni ciklus, a samim zaoravanjem možemo u tlo unijeti i organsko gnojivo ili neku drugu organsku masu koji je bogati izvor hranjivih tvari za biljke. Također, povoljno utječe na smanjenje pojavu određenih bolesti i štetnika kao što je kukuruzni moljac (*Ostrina nubilalis*) gdje je do pred par godina zakonski bilo regulirano da se do 15. svibnja najkasnije mora obaviti zaoravanje kukuruzovine.



## 2.2. Konzervacijska obrada tla

Degradacija tla, zagađenje zraka i vode, klimatske promjene, nepredvidivost tržišta postaju sve veći problemi koji značajno utječu na poljoprivrednu proizvodnju u 21. stoljeću. Smatra se da konzervacijska obrada tla ima mogućnost smanjenja štetnog utjecaja na degradaciju tla i smanjenje zagađenja tla i zraka (Crnčan, 2021.). Razvila se u Sjevernoj Americi između 1960. -1970. godine, a u Zapadnoj Europi prihvaća se od sredine 1970. godine kao odgovor na sve veće probleme prilikom obrade tla „klasičan“ (konvencionalan) metodama (Jug i sur, 2015.). Predstavlja sustav obrade tla gdje se nakon sjetve uzgajane kulture ostvaruje pokrivenost od minimalno 30 % žetvenih ostataka na tlu (slika 3.), koji imaju za cilj smanjiti gubitke vode u tlu te smanjiti eroziju tla vodom i vjetrom za barem 50 % u odnosu na konvencionalnu obradu tla (Jug i sur, 2015.). Temelji se na jačanju prirodnih i bioloških procesa iznad i ispod površine tla (Jug i sur, 2023.). Postoji više različitih tehnoloških pristupa i inačica konzervacijske obrade tla, a to su:

- Sjetva bez obrade tla (*No-till*) odnosno direktna sjetva u tla gdje se tlo ne obrađuje, već diskovi sijačice režu žetvene ostatke uz otvaranje brazde u koju ulagač polaže sjeme, u takvim uvjetima narušavanje površine tla iznosi maksimalno 10 %.
- Sjetva u brazdice (*Slot-planting*) istovremeno dok se obavlja sjetva obavlja se i rahljenje tla, nakon prolaska ulagača sjemena, tlo se ponovno nagrće na sjetveni red i lagano zbije.
- Obrada tla i sjetva u trake (*Strip-till*) prorahljuje se samo tlo unutar sjetvene trake, a žetveni ostaci se razmiču u stranu između redova.
- Obrada tla i sjetva u greben (*Ridge-till*) koja se primjenjuje u uzgoju širokorednih kultura s ciljem zaštite od erozije, greben se izvode okomito na smjer nagiba (Jug i sur, 2015.)

Različiti oblici konzervacijske obrade tla (slika 4.) različito utječu na akumulaciju organske tvari u tlu. Uz povećanje organske tvari u tlu, dolazi do niza pozitivnih promjena koje mogu utjecati na: biološke komponente tla, povećanje infiltracijske sposobnosti te zaštitu od erozije (Lucić, 2019.). Kratkoročne prednosti su:

- povećana infiltracija vode i poboljšana struktura tla zbog biljnih rezidua na površini
- smanjeno površinsko otjecanje vode

- smanjena evaporacija i povećana zaštita tla od sunčeve radijacije
- manji troškovi goriva i ljudskog rada

Dugoročne prednosti su:

- povećan sadržaj organske tvari tla rezultira boljom strukturom tla, većim KIK-om, boljom pristupačnošću hraniva i većim kapacitetom tla za vodu
- povećanje i stabilnost visine prinosa
- smanjenje troškova proizvodnje
- povećanje biološke aktivnosti u tlu i okolišu



Slika 3. Konzervacijska sjetva ozimih kultura

(Izvor: <https://www.croptracker.com/>)



Slika 4. Različiti sustavi konzervacijske obrade tla

Gledano s lijeva na desno: A-no till, B-slot planting, C - strip till, D- ridge till

(Izvor: <https://www.croptracker.com/>)

## 2.3. Degradacija tla

Degradacija tla predstavlja promjene u tlu izazvane dijelom prirodnim procesima, ali može biti potaknut i ljudskim djelovanjem na tlo. U posljednjih nekoliko desetljeća ubrzano se događa intenzivnom obradom tla. Prirodni procesi kao što je erozija tla vodom (slika 5.) i vjetrom, klimatske promjene, te toplinski ekstremi nepovoljno djeluju na tlo. Ljudskom aktivnosti tlo se degradira neprimjerenim agrotehničkim zahvatima, nepravilnom gnojidbom, nepoštivanjem plodoreda i drugo. Najčešće sudjeluje više različitih faktora u degradaciji tla.

### 2.3.1. Erozija tla vodom

Erozija tla je prirodni proces odnošenja čestice tla vodom (vodena ili hidro erozija) i/ili vjetrom (eolska erozija). Proces erozije odvija se u tri faze:

- Odvajanje pojedinih čestica od mase tla
- Prenošnje erozijskog materijala vodom i vjetrom
- Taloženje

Procesi erozije uvelike ovise o nagibu terena, intenzitetu i količini oborina, biljnom pokrivaču, učestalosti i brzini vjetra te o svojstvima tla (Martić, 2020.).



Slika 5. Erozija tla vodom  
(Izvor: <https://www.agroklub.com/>)

Erozija tla vjetrom (Slika 6.) najviše pogađa aridna i semiaridna područja diljem svijeta. Na eroziju vjetrom uz ljudsku aktivnost, utječu još klimatski i pedološki čimbenici odnosno vjetar kao i tekstura tla. Također, bitno je naglasiti da se erozija tla vjetrom vrlo rijetko zbiva u područjima koja su prirodno zaštićena vegetacijom (Kisić, 2017.). Poseban problem koji nastaje erozijom tla vjetrom je i emisija prašine kao najveći izvor aerosoli koji izravno ili neizravno utječu na ravnotežu atmosferske radijacije te globalne klimatske promjene, kao i na zdravlje ljudi i gospodarske aktivnosti (Kisić, 2017.).

Erozija tla vodom i/ili vjetrom se može smanjiti tako da površinu tla prekrivaju žetveni ostatci, ili sjetvom biljnog pokrova između dvije kulture kako nam tlo ne bi bilo golo te obradom tla okomito na nagib tla. Kada oborine padaju velikim intenzitetom, žetveni ostatci ili biljni pokrov znato umanjuju snagu udara kapljica o tlo te samim time i ublažuju utjecaj zbivanja tla i stvaranja pokorice. Ukoliko oborine traju dulje vrijeme dolazi do nakupljanja vode na površini tla te uz povećan nagib terena voda će otjecati niz padinu te za sobom odnositi čestice tla i taložiti ih na dnu padine. Kada je tlo prekriveno (naprimjer žetvenim ostacima ili biljnim pokrovom) voda se neće toliko brzo nakupiti na površini tla, te će tlo imati dovoljno vremena kako bi infiltriralo vodu kroz profil tla. Kod konvencionalnog sustava obrade tlo ostaje gotovo u potpunosti golo između osnovne obrade tla (oranja) i sjetve odnosno nicanja usjeva gdje može proći i više od šest mjeseci. U takvim uvjetima vrlo često dolazi, posebice na nagnutim terenima, do erozije tla vodom. Kod konzervacijskog sustava obrade tlo je uvijek pokrivenom s minimalno 30 % žetvenih ostataka koji uvelike smanjuju opasnost od erozije tla vodom i/ili vjetrom (Jug i sur., 2023.).

Konvencionalna obrada tla može prouzročiti probleme, posebno na praškastim, glinasto-pjeskovitim tlima, te na vrlo teškim i bestrukturnim tlima (visokim sadržajem natrija). Konvencionalnom obradom pogoršavaju se njihova fizikalna svojstva koja dovode do erozije (vodom i vjetrom).

Kako bi se ublažile negativne posljedice obrade tla smanjuje se broj zahvata. U Europi se posljednjih godina provode istraživanja u svrhu provjere različitih sustava konzervacijske obrade na eroziju, zdravlje tla i prinose usjeva. Dobiveni rezultati ukazuju da uspjeh sustava uvelike ovisi o tipu tla, uspješnosti borbe protiv korova, pa i bolesti i štetnika. Kod jače dreniranih tala koja su lagana do srednje teška s niskim sadržajem humusa više su podložna eroziji. (Kisić, 2017.).





Slika 6. Erozijska tla vjetrom

### ***2.3.2. Klimatske promjene i konzervacijska obrada tla***

Svakim danom se suočavamo sa sve izraženijim ekstremnim vremenskim prilikama i toplinskim valovima koja u Republici Hrvatskoj kao i ostatku svijeta dosežu nezabilježene razmjere. Suša u vrijeme sjetve otežava ili u potpunosti sprječava nicanje kulture, dok u kasnijim fenološkim fazama rasta i razvoja dolazi do toplinskog stresa i prisilnog dozrijevanja. Također, negativno se odražava i na stoku i pašnjake te se lokve i manja jezera isušuju, pa samim time stoka postaje žedna i gubi na imunitetu i težini (Crnčan, 2021.) . Kako navodi Znaor (2009.) poljoprivreda je djelatnost koja je u isto vrijeme i uzročnik i žrtva klimatskih promjena, gdje se prema određenim predviđanjima smatra da će poljoprivredni sektor pretrpjeti najveće štete od posljedica klimatskih promjena. Promjene u temperaturi, količina ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>), te učestalost i intenzitet ekstremnih vremenskih prilika, može imati značajan utjecaj na prinos usjeva. Više temperature kako tla, tako i zraka pogoduju biljkama za brži rast i razvoj, ali mogu i negativno utjecati i umanjiti prirodu. Usjevi imaju tendenciju bržeg rasta u toplijim uvjetima, međutim, za neke usjeve kao

što su žitarice brži rast smanjuje vremenski period za sazrijevanje sjemena što znatno smanjuje prinose (Grubešić, 2019.).

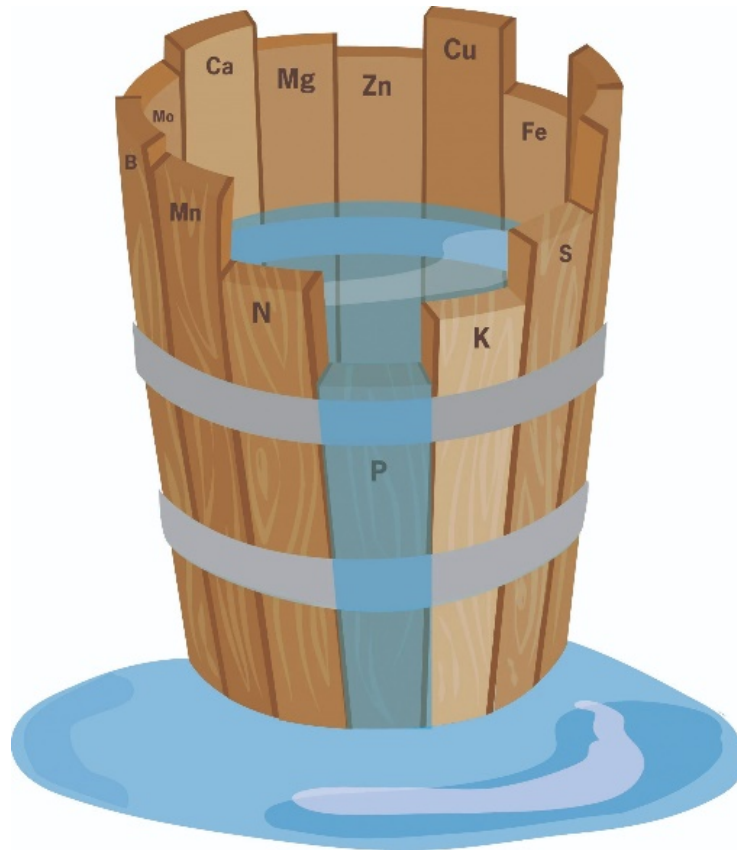
## 2.4. Gnojidba

Gnojidba predstavlja agrotehničku mjeru koja ima ulogu povećanje produktivnosti tla i uloženog rada u poljoprivrednoj proizvodnji. Biljkama za rast i razvoj potreban je čitav niz esencijalnih elemenata koje biljke usvajaju iz tla, ili atmosfere. Elementi kao što su dušik (N), fosfor (P), te kalij (K) su potrebni u velikim količinama. Mnoga hranjiva vraćaju se u tlo prirodnim putem, ali znatan dio se odnosi prinosom, te se određeni dio hranjiva gubi ispiranjem ili promjenom u biljkama nepristupačni oblik. Tako izgubljena hranjiva ukoliko se ne nadoknađuju kroz gnojidbu dolazi do osiromašenja tla te prinos na poslijetku počinje opadati (Vukadinović, 2013.).

Filozofija gnojidbe ima četiri glavna aspekta, a to su:

- Gnojidba tla
- Gnojidba biljaka
- Gnojidba tla i biljaka i
- Bez gnojidbe

Filozofija gdje se ne primjenjuje gnojidba primjenjuje se kod kultura koje imaju nisku finalnu cijenu. Međutim, proizvođači moraju biti svjesni da u uvjetima kada se biljke ne gnoje gube i do 50 % prinosa. Kod gnojidbe tla povećavamo bioraspoloživost hraniva kroz povećanje odnosno održavanje kritične razine hraniva u tlu (slika 7.) ispod koje dolazi do opadanja prinosa. Takva filozofija se koristi u intenzivnom uzgoju biljaka primjenom velikih doza gnojiva koja se temelji na puferskoj sposobnosti tla da zadrži hraniva u zoni korijena. Kod filozofije gnojidba biljaka i gnojidba tla i biljaka uključuje obaveznu kemijsku analizu tla i biljaka, odnosno sustav kontrole plodnosti (Vukadinović, 2013.).



Slika 7. Kritična razina hraniva

(Izvor: <https://ratarstvo.net/>)

Konzervacijska obrada tla povoljno utječe na dostupnost dušika, fosfora, kalija, kalcija, magnezija, povećava pH tla. Smanjuje zasićenost tla aluminijevim ionima, povećava KIK, povećava sadržaj ugljika u tlu, povećava se broj gujavica, različitih člankonošca, mikoriznih gljiva, te se povećava mikrobiološka masa tla. Opskrba tla hranjivim tvarima je povećana uslijed biokemijske razgradnje organskih ostataka usjeva na površini tla koji su također vitalni za hranjenje mikroba u tlu. Samim time se i plodnost tla s vremenom povećava, a intervencija za dodatnim izvorom hranjiva je manja (Crnčan, 2021.).

## 2.5. Kalcizacija

Kalcizacija je agrotehnička mjera podizanja reakcije tla pomoću različitih poboljšivača tla koji sadrži kalcij (Ca) i/ili magnezij (Mg) u višim koncentracijama s ciljem neutralizacije suvišne kiselosti tla i postizanja ciljne pH vrijednosti. Zbog određenih utjecaja u tlu kao što je primjena fiziološki kiselih gnojiva, atmosferi (kisele kiše), a i sami matični supstrat može biti kisele reakcije, može doći do zakiseljavanja tla. Uslijed takvih uvjeta u tlu dolazi do smanjenje mogućnosti usvajanja hranjiva od strane biljaka. U izrazito kiselom tlu biti će nedovoljna raspoloživost kalcija (Ca), magnezija (Mg), i molibdena (Mo), uz određenu kemijsku fiksaciju fosfora. Uz povećanu vlažnost tla pojavljuje se opasnost gubitka dušika denitrifikacijom, a ekstremna kiselost je toksična za biljke zbog slobodnih iona aluminijskih i mangana. Zakiseljavanje tla je kompleksni elementarni pedogenetski proces do kojeg dolazi u većem ili manjem intenzitetu na području cijele pedosfere, prije svega u humidnim i perhumidnim područjima. Prirodni procesi koji čine zakiseljavanje tla su:

- Dekarbonatizacija - ispiranje i premještanje kalcijevog karbonata u dublje slojeve reakcijom s ugljičnom kiselinom pri čemu nastaje toplivi bikarbonat  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  koji se premješta descendentnom perkolacijom vode;
- Debazifikacija - proces ispiranja baza, tj. izmjenjivih alkalnih kationa s adsorpcijskog kompleksa (AK) tla, nastupa nakon ispiranja karbonata, a protjecanje vode pojačano potiskuje baze s AK
- Zakiseljavanje ili acidifikacija - vezanje vodikovih iona na adsorpcijski kompleks tla umjesto istisnutih baza, istovremeno s debazifikacijom, dovodi do permanentnog zakiseljavanja tla

Osnovni antropogeni načini zakiseljavanja tla:

- Industrijska emisija kiselih kiša -  $\text{SO}_2$  kiselim kišama dopire u tlo i zakiseljava ga, sličan je učinak i utjecaj nitroznih plinova, na primjer  $\text{NO}_2$
- Intenzivna organska i mineralna gnojidba - intenziviranje ciklusa N mineralnom gnojidbom, posebno unošenje rezidualno kiselih gnojiva: amonijev klorid, sulfat, sulfonitrat, nitrat, fosfat, organska gnojidba razgradnjom organske tvari i nitrifikacijom amonijskog dušika u organskom gnojivu, intenzivni uzgoj leguminoza, negativna bilanca kalcija i magnezija iznošenjem prinosa i ispiranjem

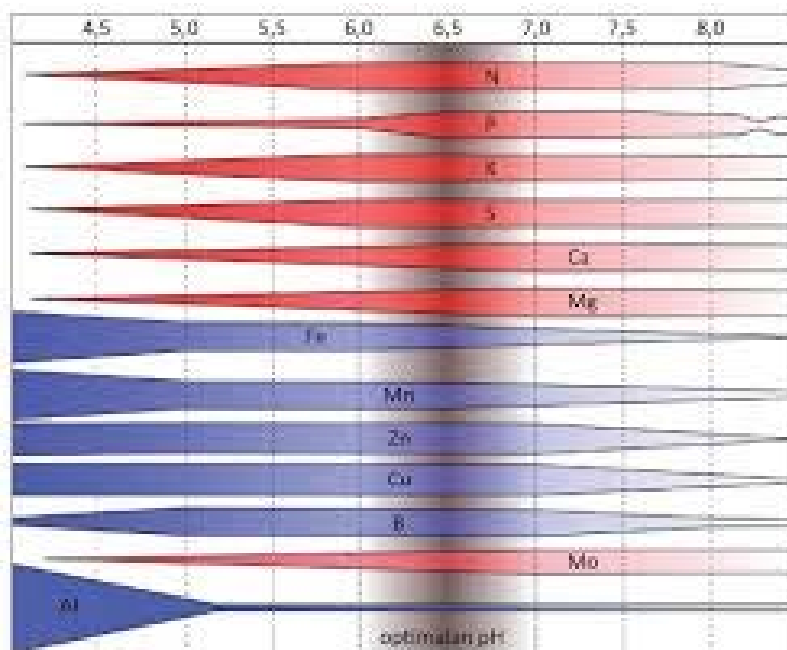


Kalcizacija se izvodi s kalcizacijskim sredstvima koja sadrže velike količine vapna kao što su vapnenac, dolomitski vapnenac, kreda, karbokalk, lapor, gips, kalcijev silikat, magnezit, mljevene školjke.

Materijal za kalcizaciju se svrstava u pet kategorija:

- Prirodna vapna
- Oksidna i hidroksidna vapna prirodnog podrijetla
- Vapno iz industrijskih postupaka
- Mješavine vapnenih materijala s gnojivima
- Miješano vapno

Kalcizacija djeluje na povećanje i poboljšanje prinosa optimiziranjem pH reakcije tla (slika 8.) i direktnim utjecajem na povećanu pristupačnost kalcija u tlu, te fosfora, magnezija i molibdena.



Slika 8. Utjecaj pH tla na dostupnost hraniva

(Izvor: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/>)

Također kod neadekvatne kalcizacije smanjuje se pristupačnost nekih mikroelemenata poput željeza, mangana, cinka, bakra, nikla, te može biti vrlo opasno ako se doda prevelika količina sredstva za kalcizaciju jer je biljka osjetljivija na alkalnu nego na kiselu reakciju tla. Kod kisele reakcije tla od makro elemenata gotovo svi postaju biljkama nedostupni, ponajviše

fosfor koji uvelike bitan za razvoj korijena i cvijet. Mikroelementi kao što su aluminij, željezo, mangan, cink u kiseloj reakciji tla postaju vrlo toksični za biljku posebice alumiji. U takvim uvjetima biljka se nalazi u velikom stresu, uslijed stresa prinos uzgajane kulture se smanjuje, stoga je vrlo važno održavati neutralnom reakciju tla odnosno pH vrijednost tla bi trebala biti između 6,5 - 7 (Đurđević i sur., 2011.; Đurđević 2014.).

## 2.6. Kationski izmjenjivački kapacitet

Prema Hardy i sur. (2012.) kationski izmjenjivački kapacitet (KIK) pokazuje u kojoj mjeri tlo može usvajati i razmjenjivati katione kao što su kalcij, magnezij, kalij, vodik, aluminij, željezo i sl. KIK je važno mjerilo u pedologiji za procjenu fizikalno-kemijskog stanja tla, što može biti dobar pokazatelj kakvoće i produktivnosti tla. U laboratoriju, kada se vrši analiza tla, obično ne provode izravno mjerenje KIK-a, već se izračunava na temelju količina baznih kationa ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$  i  $\text{Na}^{+}$ ) ekstrahiranih u standardnim analizama tla, a izražava se u  $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$  tla. Ti se kationi u tlu prema Branković, 2020. drže za negativno nabijene čestice gline i organske tvari. Uslijed povećanja organske tvari tla dolazi i do povećanja kationskog izmjenjivačkog kompleksa (KIK), uslijed povećanja KIK-a veća je i sposobnost skladištenja elemenata biljne ishrane. KIK predstavlja sumu kationa vezanih na koloidnu micelu tla (Kuveždić, 2019.). Na veličinu KIK-a utječe i sadržaj gline i tip minerala gline. Najniži KIK ( $3 - 15 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ ) imaju dvoslojni minerali iz grupe kaolinita. Troslojni minerali s većim međulamelarnim razmakom mogu imati KIK između  $80 - 120 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$  (smektitna grupa), odnosno  $120 - 150 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$  (vermikuliti). Kapacitet adsorpcije kationa humusa iznosi  $100 - 300 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ . Vrijednost KIK-a  $<10 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$  ukazuje na nizak sadržaj gline i organske tvari, dok je povećan udio pijeska i praha (Đurđević i sur, 2011.). Tla s više humusa i gline imaju više vrijednosti KIK-a u odnosu na lakša i slabo humozna tla.

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

#### **3.1. Lokacija istraživanja i eksperimentalni dizajn**

Istraživanja su provedena u istočnom dijelu Hrvatske (lokacija Čačinci - 17° 86' 36" E, 45° 61' 32" N) na pseudogleju. Rezultati u ovom radu su iz druge godine istraživanja gdje je istraživana utjecaj različitih sustava obrade tla, kalcizacije i gnojidbe na ključne pokazatelje zdravlja tla. Pokus je proveden na 24 parcele (4 tretmana gnojidbe x 2 tretmana kalcizacije x 3 tretmana obrade tla) x 3 ponavljanja. Osnovna veličina parcele bila je 160 m<sup>2</sup> (obrada tla), a veličina parcela za gnojidbu i kalcizaciju iznosila je 80 m<sup>2</sup>. Jedan uzorak sastoji se od 20 pojedinačnih uzoraka sakupljenih unutar parcele, s dubinom izvlačenja uzorka od 0-15 cm i 15-30 cm. Uzorci tla uzeti su nakon žetve soje, prije primjene bilo koje vrste gnojidbe i prije pripreme tla za sljedeći usjev (Đurđević, 2014.).

Prvi faktor bili su tretmani obrade tla: konvencionalna obrada (ST) - oranje do 30 cm dubine, duboka konzervacijska obrada (CTD) - rahljenje do 30 cm dubine s minimalno 30 % pokrivenosti tla žetvenim ostacima i plitka konzervacijska obrada (CTS) - rahljenje do 10 cm dubine uz minimalno 50 % pokrivenosti površine tla žetvenim ostacima. Drugi faktor uključivao je kalcizaciju (LY) 4375 kg/ha CaO (prema preporuci za neutraliziranje kisele reakcije tla, izračunato računalnim programom ALRxp) (Đurđević i sur., 2011.) i tretman bez kalcizacije (LN). Treći faktor bila je gnojidba tla (FR - N\_40 kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>\_150 kg : K<sub>2</sub>O\_94 kg; FD - N\_20 kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>\_75 kg : K<sub>2</sub>O\_47 kg; GFR - N\_40 kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>\_150 kg : K<sub>2</sub>O\_94 kg + 150 kg Geo2\_ aktivator mikrobne biomase tla; GFD - N\_20 kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>\_75 kg : K<sub>2</sub>O\_47 kg + 150 kg Geo2\_aktivator mikrobne biomase tla).

#### **3.2. Laboratorijska analiza tla**

Uzorci tla pohranjeni su u plastične vrećice, homogenizirani, osušeni, mljeveni i laboratorijski analizirani. U zrakosuhim uzorcima tla utvrđena je aktualna i supstitucijska kiselost tla elektrometrijski, pH-metrom - pH - staklenom elektrodom u 1:5 (volumenski udio) suspenziji tla, (u H<sub>2</sub>O i KCl) (ISO, 2021.). Određivanje sadržaja organskog ugljika tla izvršeno je bikromatnom metodom koja predstavlja mokro spaljivanje organske tvari tla kalijevim bikromatom u sumpornoj kiselini. Koncentracija organskog ugljika u uzorcima određena je spektrofotometrijski. (ISO, 1995.). Kationsko izmjenjivački kapacitet tla - KIK, odnosno određivanje efektivnog kapaciteta kationske izmjene i razine zasićenosti bazom analizirano je pomoću otopine barijevog klorida (ISO, 2018.).

### **3.3. Statistička analiza**

ANOVA dizajn s obradom tla i gnojidbom kao zadanim faktorima korišten je za testiranje utjecaja različitih sustava obrade tla, kalcizacije i različitih količina gnojiva na pH, organski ugljik u tlu (SOC), kapacitet izmjene kationa (KIK). Srednje vrijednosti koje su bile značajne prema provedenom F-testu uspoređene su pomoću LSD testa na razini  $p < 0,05$  značajnosti za ispitivane čimbenike. Programski paket Statistica, verzija 14.0.0. (TIBCO Software Inc., Palo Alto, CA, SAD) korišten je za provođenje ANOVA analize i grafičkog dizajna.

## 4. REZULTATI

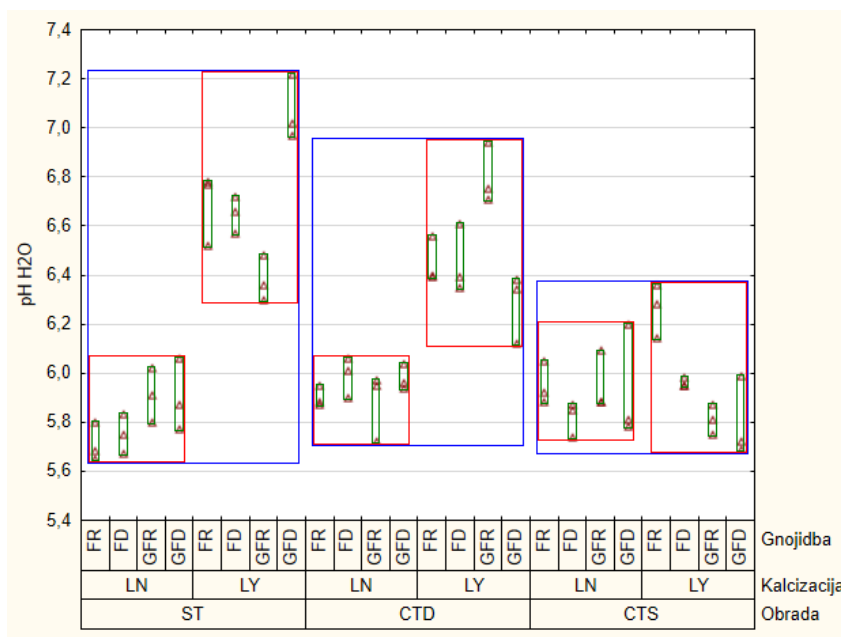
Prema provedenim pedološkim analizama tlo je svrstano u skupinu hidromorfni tala tip pseudoglej. Početne analize tla provedene na istraživačkoj lokaciji ukazuju na kiselu reakciju tla, s dobrom opskrbljenošću tлом organskom tvari tla. Raspoloživost fosfora i kalija je niska uz visoku izmjerenu vrijednost hidrolitičke kiselosti (Tablica 1.).

Tablica 1. Početne analize tla provedene na lokalitetu Čaćinci

Tip tla	Pseudoglej
pH <sub>KCl/H<sub>2</sub>O</sub>	4,09 / 5,65
Hy (cmol kg <sup>-1</sup> )	7,90
AL P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg 100 g <sup>-1</sup> )	10,37
AL K <sub>2</sub> O (mg 100 g <sup>-1</sup> )	15,63
SOM (%)	2,8

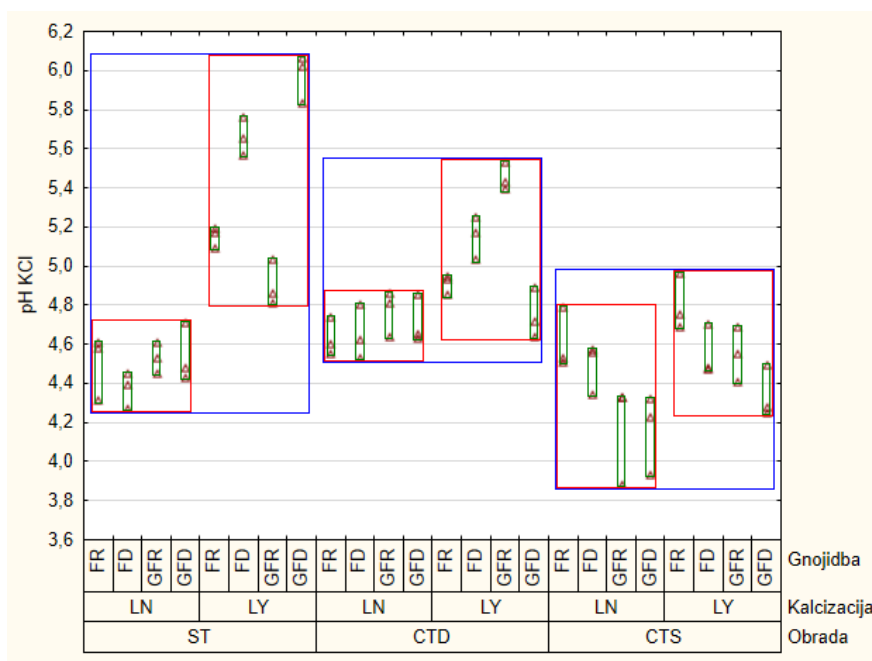
### 4.1. Rezultati analize tla na dubini 0-15 cm

Aktualna i supstitucijska kiselost su bile pod značajnim utjecajem obrade tla i kalcizacije i u prosjeku su iznosile 6,13 (pH H<sub>2</sub>O) i 4,76 (pH KCl) Zabilježene su značajne interakcije između ispitivanih tretmana. Najveće izmjerene vrijednosti aktualne (7,07) i supstitucijske reakcije tla (5,97 ) zabilježene su na konvencionalnoj obradi tla uz kalcizaciju na GFD gnojidbi, a najmanja vrijednost aktualne kiselosti na konvencionalnoj obradi tla bez kalcizacije na FR gnojidbi (5,71) dok je supstitucijska kiselost bila najniža na konzervacijskoj plitkoj obradi bez kalcizacije i na GFD gnojidbi (4,16) (Grafikon 1. i 2.).



Grafikon 1. Varijabilnost pH H<sub>2</sub>O na dubini uzorkovanja 0-15 cm.

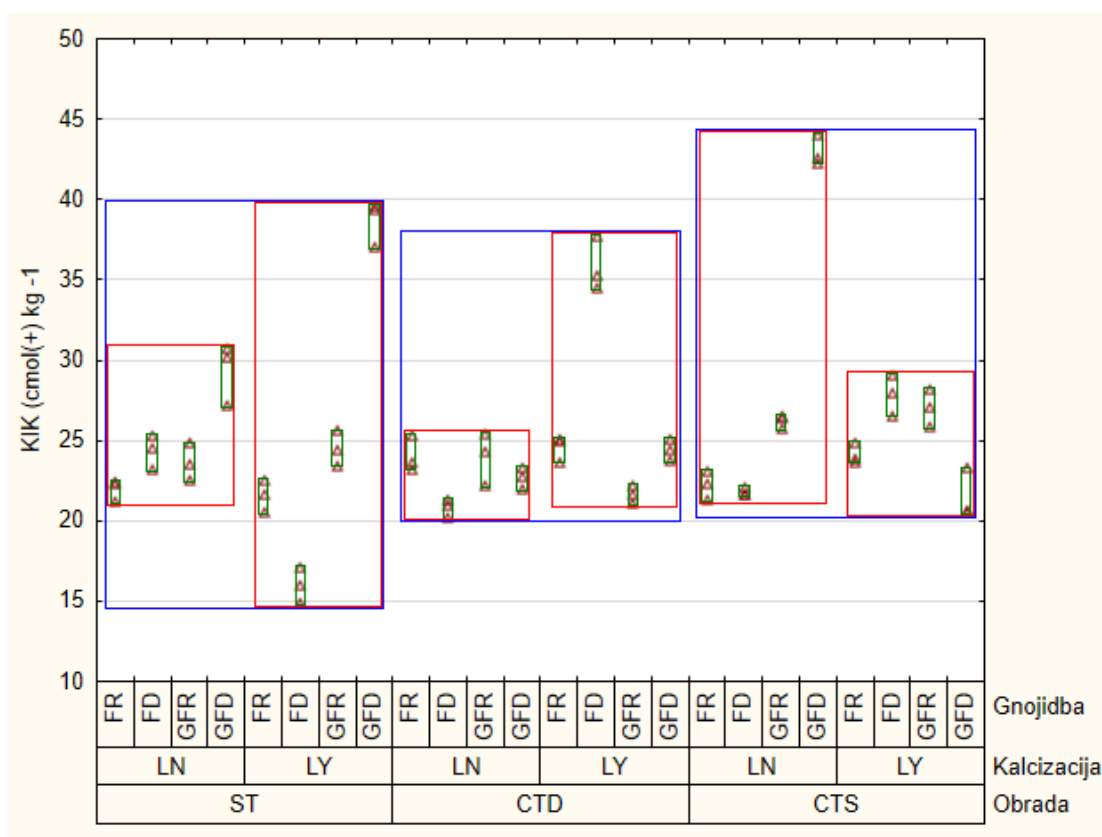
(konvencionalna obrada (ST); duboka konzervacijska obrada (CTD); plitka konzervacijska obrada (CTS) ; kalcizacija (LY); bez kalcizacije (LN); gnojidba (FR - N<sub>40</sub> kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sub>150</sub> kg : K<sub>2</sub>O<sub>94</sub> kg; FD - N<sub>20</sub> kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sub>75</sub> kg : K<sub>2</sub>O<sub>47</sub> kg; GFR - N<sub>40</sub> kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sub>150</sub> kg : K<sub>2</sub>O<sub>94</sub> kg + 150 kg Geo<sub>2</sub> aktivator mikrobnne biomase tla; GFD - N<sub>20</sub> kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sub>75</sub> kg : K<sub>2</sub>O<sub>47</sub> kg + 150 kg Geo<sub>2</sub> aktivator mikrobnne biomase tla)).



Grafikon 2. Varijabilnost pH KCl na dubini uzorkovanja 0-15 cm.

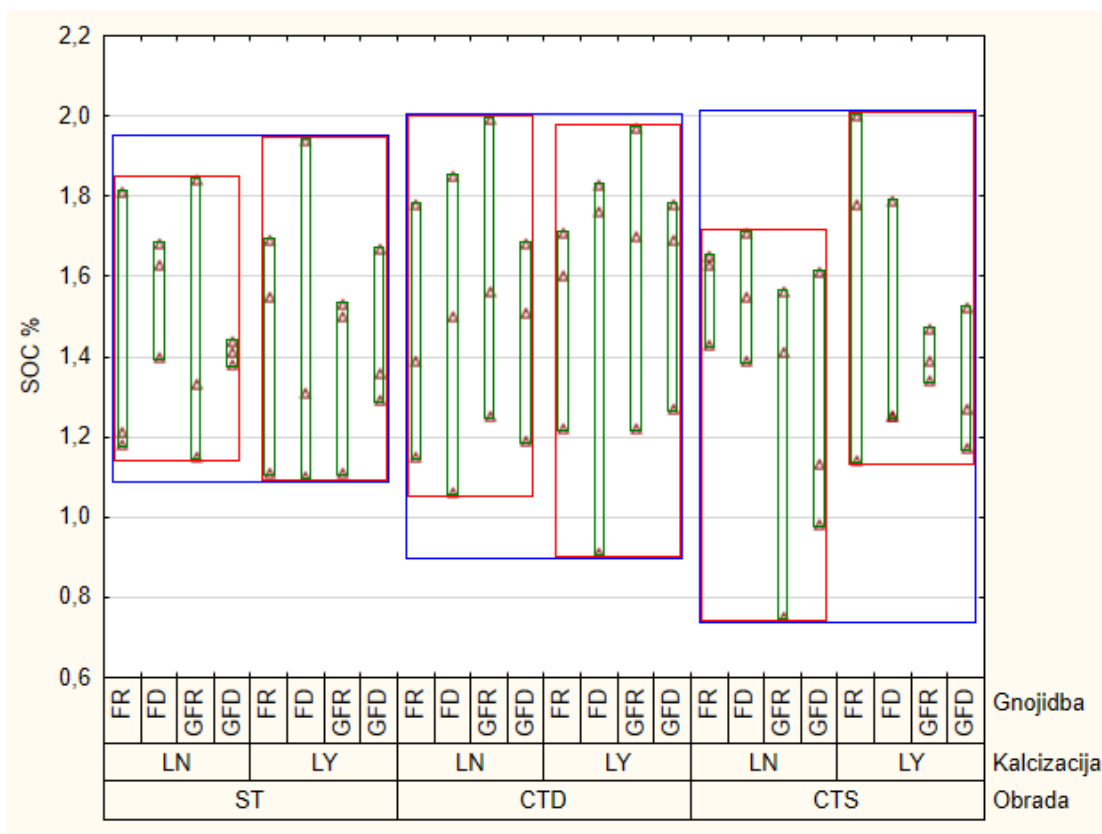
(konvencionalna obrada (ST); duboka konzervacijska obrada (CTD); plitka konzervacijska obrada (CTS) ; kalcizacija (LY); bez kalcizacije (LN); gnojidba (FR - N<sub>40</sub> kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sub>150</sub> kg : K<sub>2</sub>O<sub>94</sub> kg; FD - N<sub>20</sub> kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sub>75</sub> kg : K<sub>2</sub>O<sub>47</sub> kg; GFR - N<sub>40</sub> kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sub>150</sub> kg : K<sub>2</sub>O<sub>94</sub> kg + 150 kg Geo<sub>2</sub> aktivator mikrobnne biomase tla; GFD - N<sub>20</sub> kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sub>75</sub> kg : K<sub>2</sub>O<sub>47</sub> kg + 150 kg Geo<sub>2</sub> aktivator mikrobnne biomase tla)).

Prosječan KIK iznosio je 25,48 cmol(+)kg<sup>-1</sup> i na njegovo variranje značajno je utjecala obrada tla i gnojidba. Najveća vrijednost KIK-a izmjerena je na konzervacijskoj plitkoj obradi, bez kalcizacije na GFD gnojidbi (42,99 cmol(+)kg<sup>-1</sup>), a najmanja vrijednost KIKa je izmjerena na konvencionalnoj obradi, s kalcizacijom pri FD gnojidbi (16 cmol(+)kg<sup>-1</sup>) (Grafikon 3.). Na vrijednosti organskog ugljika u tlu, koji je u prosjeku iznosio 1,46 % statistički nije značajno utjecao niti jedan ispitivani tretman (Grafikon 4.).



Grafikon 3. Varijabilnost KIK-a na dubini uzorkovanja 0-15 cm.

(konvencionalna obrada (ST); duboka konzervacijska obrada (CTD); plitka konzervacijska obrada (CTS) ; kalcizacija (LY); bez kalcizacije (LN); gnojidba (FR - N<sub>40</sub> kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150 kg : K<sub>2</sub>O 94 kg; FD - N<sub>20</sub> kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 75 kg : K<sub>2</sub>O 47 kg; GFR - N<sub>40</sub> kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150 kg : K<sub>2</sub>O 94 kg + 150 kg Geo2\_aktivator mikrobne biomase tla; GFD - N<sub>20</sub> kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 75 kg : K<sub>2</sub>O 47 kg + 150 kg Geo2\_aktivator mikrobne biomase tla)).



Grafikon 4. Varijabilnost SOC-a na dubini uzorkovanja 0-15 cm.

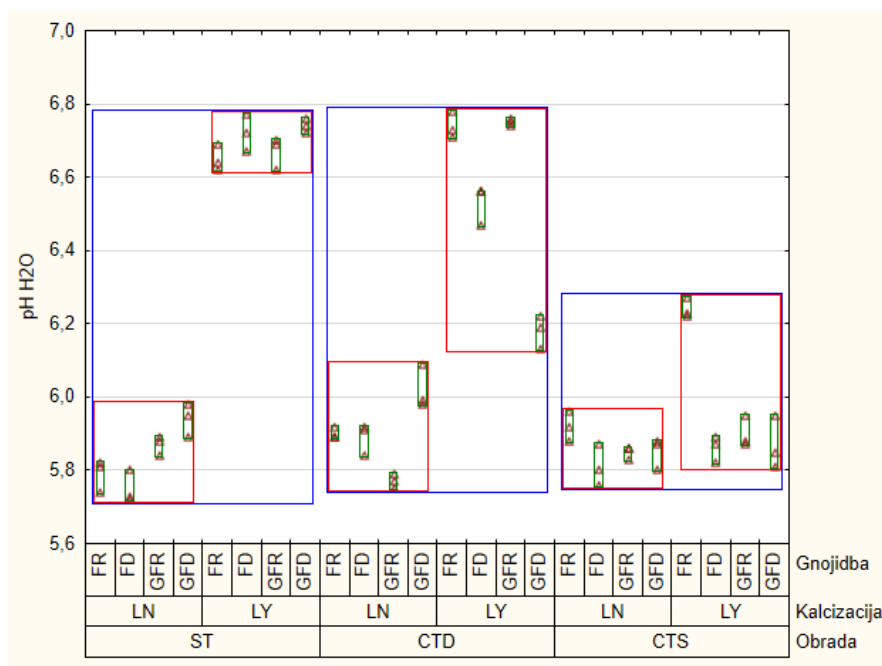
(konvencionalna obrada (ST); duboka konzervacijska obrada (CTD); plitka konzervacijska obrada (CTS) ; kalcizacija (LY); bez kalcizacije (LN); gnojidba (FR - N<sub>40</sub> kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>\_150 kg : K<sub>2</sub>O\_94 kg; FD - N<sub>20</sub> kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>\_75 kg : K<sub>2</sub>O\_47 kg; GFR - N<sub>40</sub> kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>\_150 kg : K<sub>2</sub>O\_94 kg + 150 kg Geo2\_aktivator mikrobne biomase tla; GFD - N<sub>20</sub> kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>\_75 kg : K<sub>2</sub>O\_47 kg + 150 kg Geo2\_aktivator mikrobne biomase tla)).

#### 4.2. Rezultati analize tla na dubini 15-30 cm

Na dubini od 15-30 cm svi ispitivani parametri bili su pod značajnim utjecajem tretmana. Zabilježene su statistički značajne interakcije između svih tretmana.

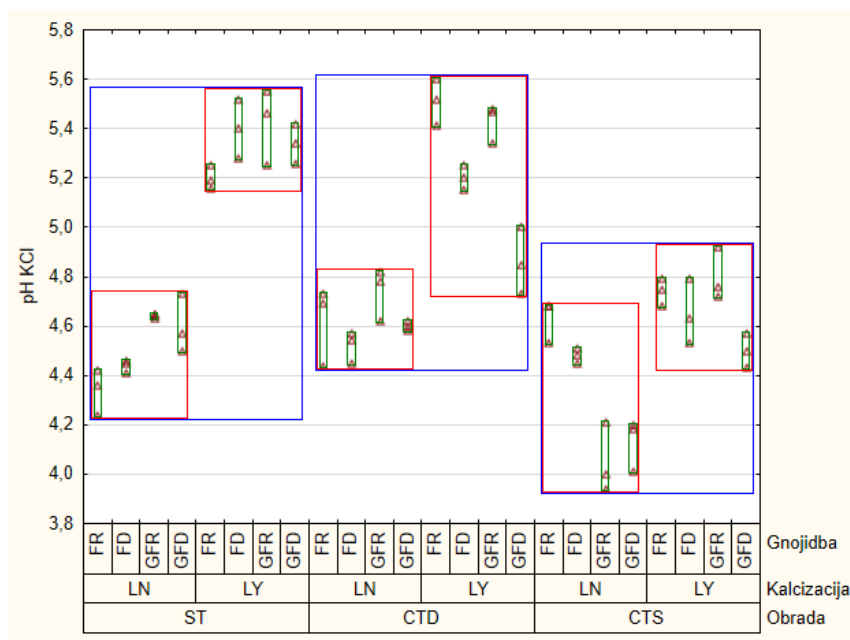
Aktualna kiselost u prosjeku je iznosila 6,13 te je na njeno variranje značajno utjecala obrada tla, kalcizacija i gnojidba. Najveća vrijednost aktualne kiselosti izmjerena je na CTD LY GFR i iznosila je 6,75, dok je najmanja vrijednost izmjerena u uzorcima tla na ST LN FD tretmanima i iznosila je 5,75. Supstitucijska kiselost je u prosjeku iznosila 4,86 i najveća vrijednost (5,51) izmjerena je u tlu na CTD LY FR tretmanima, a najmanja (4,05) na CTS LN GFR (Grafikon 5. i 6.).





Grafikon 5. Varijabilnost pH H<sub>2</sub>O na dubini uzorkovanja 15-30 cm.

(konvencionalna obrada (ST); duboka konzervacijska obrada (CTD); plitka konzervacijska obrada (CTS) ; kalcizacija (LY); bez kalcizacije (LN); gnojidba (FR - N<sub>40</sub> kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sub>150</sub> kg : K<sub>2</sub>O<sub>94</sub> kg; FD - N<sub>20</sub> kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sub>75</sub> kg : K<sub>2</sub>O<sub>47</sub> kg; GFR - N<sub>40</sub> kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sub>150</sub> kg : K<sub>2</sub>O<sub>94</sub> kg + 150 kg Geo<sub>2</sub> aktivator mikrobnne biomase tla; GFD - N<sub>20</sub> kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sub>75</sub> kg : K<sub>2</sub>O<sub>47</sub> kg + 150 kg Geo<sub>2</sub> aktivator mikrobnne biomase tla)).

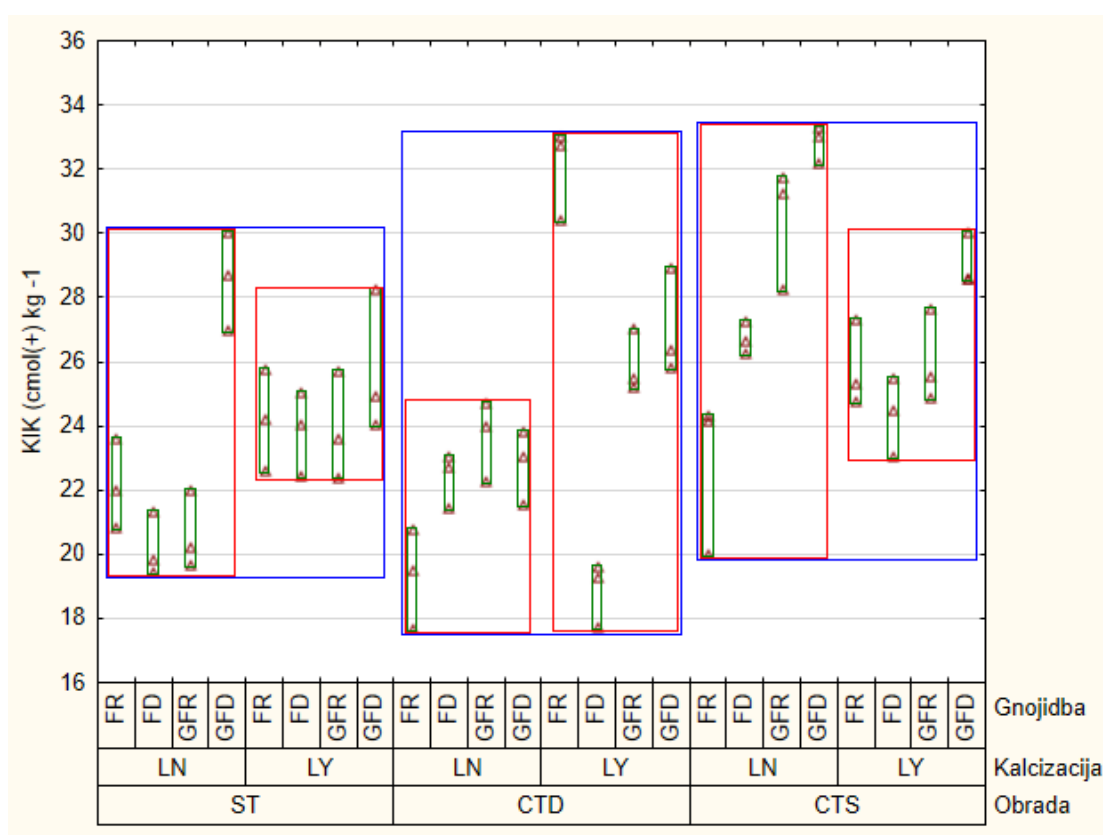


Grafikon 6. Varijabilnost pH KCl na dubini uzorkovanja 15-30 cm.

(konvencionalna obrada (ST); duboka konzervacijska obrada (CTD); plitka konzervacijska obrada (CTS) ; kalcizacija (LY); bez kalcizacije (LN); gnojidba (FR - N<sub>40</sub> kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sub>150</sub> kg : K<sub>2</sub>O<sub>94</sub> kg; FD - N<sub>20</sub> kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sub>75</sub> kg : K<sub>2</sub>O<sub>47</sub> kg; GFR - N<sub>40</sub> kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sub>150</sub> kg : K<sub>2</sub>O<sub>94</sub> kg + 150 kg Geo<sub>2</sub> aktivator mikrobnne biomase tla; GFD - N<sub>20</sub> kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sub>75</sub> kg : K<sub>2</sub>O<sub>47</sub> kg + 150 kg Geo<sub>2</sub> aktivator mikrobnne biomase tla)).

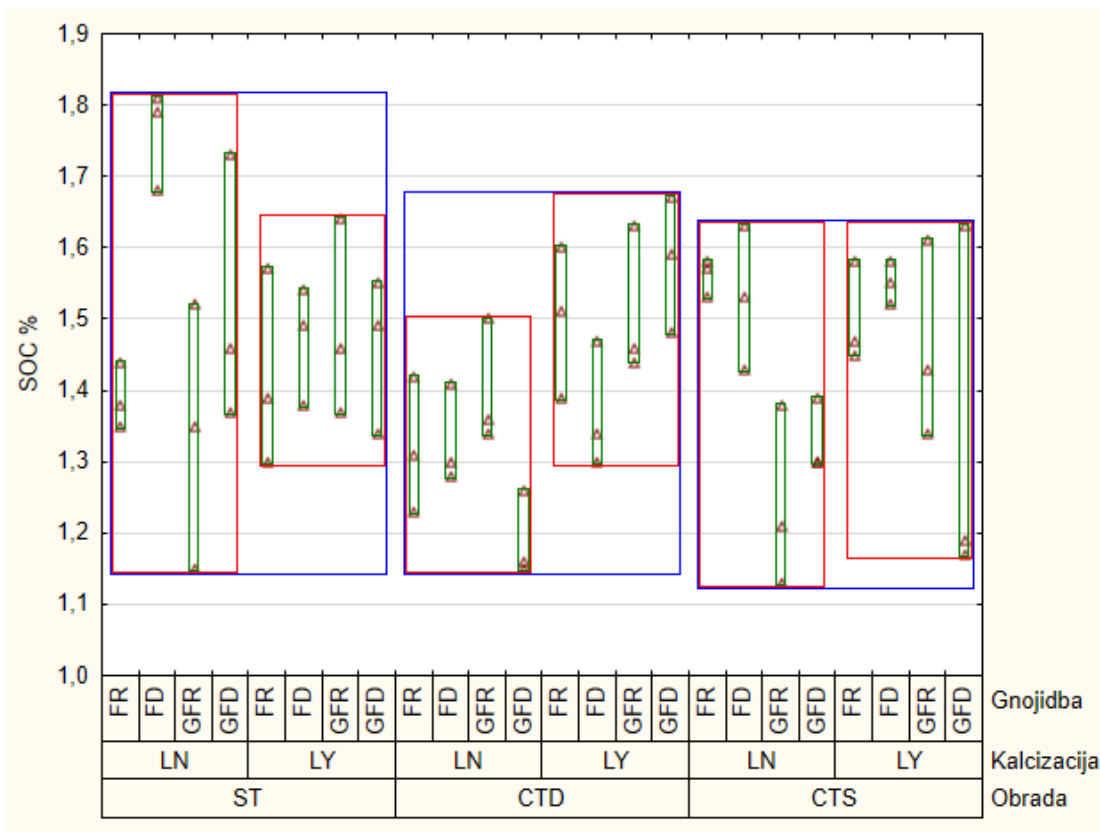
Kationski izmjenjivački kapacitet bio je pod značajnim utjecajem obrade, gnojidbe i fertilizacije te je u prosjeku iznosio 20,64 cmol(+)kg<sup>-1</sup> (Grafikon 7.). Najveći KIK izmjeren je na CTS LN GFD tretmanu (32,81 cmol(+)kg<sup>-1</sup>), a najmanji (18,87 cmol(+)kg<sup>-1</sup>) na CTD LY FD tretmanu.

Organski ugljik u tlu u prosjeku je iznosio 1,44 % i bio je pod značajnim utjecajem gnojidbe i kalcizacije. Sve interakcije istraživanih tretmana bile su statistički značajne. Najveći sadržaj organskog ugljika izmjeren je u uzorcima tla na ST LN FD (1,76 %), a najmanji na CTD LN GFD (1,19 %) (Grafikon 8.).



Grafikon 7. Varijabilnost KIK-a na dubini uzorkovanja 15-30 cm.

(konvencionalna obrada (ST); duboka konzervacijska obrada (CTD); plitka konzervacijska obrada (CTS) ; kalcizacija (LY); bez kalcizacije (LN); gnojidba (FR - N\_40 kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>\_150 kg : K<sub>2</sub>O\_94 kg; FD - N\_20 kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>\_75 kg : K<sub>2</sub>O\_47 kg; GFR - N\_40 kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>\_150 kg : K<sub>2</sub>O\_94 kg + 150 kg Geo2\_aktivator mikrobne biomase tla; GFD - N\_20 kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>\_75 kg : K<sub>2</sub>O\_47 kg + 150 kg Geo2\_aktivator mikrobne biomase tla)).



Grafikon 8. Varijabilnost SOC-a na dubini uzorkovanja 15-30 cm.

(konvencionalna obrada (ST); duboka konzervacijska obrada (CTD); plitka konzervacijska obrada (CTS) ; kalcizacija (LY); bez kalcizacije (LN); gnojidba (FR - N\_40 kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>\_150 kg : K<sub>2</sub>O\_94 kg; FD - N\_20 kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>\_75 kg : K<sub>2</sub>O\_47 kg; GFR - N\_40 kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>\_150 kg : K<sub>2</sub>O\_94 kg + 150 kg Geo2\_aktivator mikrobnne biomase tla; GFD - N\_20 kg : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>\_75 kg : K<sub>2</sub>O\_47 kg + 150 kg Geo2\_aktivator mikrobnne biomase tla)).

## 5. RASPRAVA

Reakcija tla, izražena kao pH vrijednost snažno utječe na raspoloživost hranjivih elemenata te na taj način direktno utječe na prinos i kakvoću usjeva (Bertić, 2017.). Izmjerena, niska pH vrijednost tla u početnim analizama uz značajno visoku hidrolitičku kiselost upućuje na značajan utjecaj reakcije tla na usvajanje esencijalnih elemenata osobito fosfora (Tablica 1.). Nedostatak fosfora vrlo je česta pojava na kiselim tlima, ali i također jer ih, biljke iznose u velikim količinama pa je pojačana gnojidba fosforom uz provedbu kalcizacije redovita agrotehnička mjera na kiselim tlima. Niska raspoloživost fosfora može značajno utjecati na snižavanje prinosa, ali i kakvoću usjeva (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Organska tvar tla je jedan od brojnih pokazatelja kvalitete tla. To je frakcija tla koju čine sve organske komponente koje su nekada bile žive, odnosno koje su manje ili više raspadnute, a u to se ubraja nadzemni i podzemni ostaci biljaka, ostaci životinja, te ostaci mikro i makroorganizama (Kuveždić, 2016.). Dobro razgrađena organska tvar tla čini humus, materijal tamno smeđe boje, porozan, i ugodnog mirisa na tlo. Organska tvar je esencijalna komponenta tla jer osigurava ugljik i izvor energije za mikroorganizme, stabilizira i povezuje čestice tla, pomaže biljkama u rastu poboljšavajući sposobnost tla za zadržavanje i transmisiju zraka i vode, zadržava hraniva osiguravajući kationski i anionski izmjenjivački kapacitet (Jug, 2014.). Izmjerena početna vrijednost od 2,8 % organske tvari svrstava proučavano tlo u klasu dobro opskrbljenih organskom tvari (Đurđević, 2010.). Prema Đurđević, (2010.) i Vukadinović, (2011.) na kiselim hidromorfnim tlima često dolazi do anaerobnih uvjeta te procesa truljenja pri čemu ne dolazi do procesa humizacije, odnosno stvaranja humusa dobrih karakteristika, ali i dalje se u analizi detektira organska tvar. Na takvim tlima preporuča se kalcizacija uz pojačan dotok organske tvari i sustav obrade koji neće dodatno degradirati navedeno tlo (Vukadinović i Vukadinović, 2011.; Martinović, 2023.)

Na dubini od 0-15 cm aktualna i supstitucijska kiselost su bile pod značajnim utjecajem obrade tla i kalcizacije. Jedna od najčešćih agrotehničkih mjera za podizanje pH vrijednosti tla je kalcizacija (Čoga, 2018.), ali treba istaknuti da se problem niskih pH vrijednosti ne može riješiti jednostavno i brzo. Promjena od vrlo kisele reakcije tla do neutralne radikalno mijenja uvjete u tlu. Zbog promjene stanja oksidoredukcije dolazi do pojačanog razlaganja organske tvari tla, što nakon početnog porasta efektivne plodnosti neminovno vodi do pada

produktivnosti tla (Vukadinović i Vukadinović, 2016.). Također, niske pH vrijednosti tla uzrokuju deficit kalcija i magnezije te uslijed toga dolazi do kvarenja strukture tla, a u nekim proizvodnim područjima može doći i do poremećaja ishrane usjeva, najčešće uzrokovane toksičnim koncentracijama aluminija, željeza ili mangana (Špoljar, 2007.; Đurđević, 2010.). Prema Yuan i sur. (2022.), konvencionalna obrada tla narušava strukturu tla, smanjuje plodnost tla i povećava poroznost tla, što dovodi do gubitka hranjivih tvari i smanjenja organske tvari u tlu. S druge strane, konzervacijska obrada tla može smanjiti eroziju vjetrom i vodom, osigurati sjenu i poboljšati vlažnost tla, ali i također može sniziti pH tla zbog smanjene aeracije (osobito na strukturno težim tlima). Međutim, važno je napomenuti da učinak konzervacijske obrade tla na reakciju tla može varirati ovisno o brojnim čimbenicima, kao što su tip tla, klima i sustav uzgoja (Busari i sur., 2015.).

Prosječan KIK iznosio je  $25,48 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$  i na njegovo variranje značajno je utjecala obrada tla i gnojidba. Najveća vrijednost KIK-a izmjerena je na konzervacijskoj plitkoj obradi, bez kalcizacije na GFD gnojidbi, a najmanja vrijednost izmjerena je na konvencionalnoj obradi, s kalcizacijom pri FD gnojidbi. Konzervacijska obrada tla može povećati kapacitet izmjene kationa (KIK), posebno u suhim i polusušnim područjima gdje dolazi do pojačanog formiranja strukturnih agregata tla, odnosno skupina čestica tla povezane organskom tvari tla. Agregati tla imaju veću površinu od pojedinačnih čestica tla, što im daje veću sposobnost zadržavanja i izmjene kationa. Pri tome važnu ulogu u formiranju stabilnih strukturnih agregata tla ima sadržaj organske tvari tla a (SOM) koji značajno može utjecati na više vrijednosti KIK-a. Brojne studije su pokazale da konzervacijska obrada tla može poboljšati KIK (Cooper i sur., 2020.). Na primjer, prema Ligang i sur. (2023.), pri primjeni konzervacijske obrade tla, KIK je bio značajno veći u gornjih 15 cm tla nego u konvencionalno obrađenom tlu. Druga studija Busari i sur. (2015.) izvijestila je da je efektivni kapacitet izmjene kationa (EKIK) bio značajno veći na kraju dvogodišnjeg istraživanja pod konzervacijskom obradom tla u usporedbi s konvencionalnom obradom.

Na vrijednosti organskog ugljika u tlu, statistički nije značajno utjecao niti jedan ispitivani tretman. Uslijed intenzivne obrade tla dolazi i do intenzivnog trošenja organske tvari. Također do smanjivanja organske tvari dolazi kada je smanjena produkcija biljnog materijala, smanjena opskrba organskim materijalom (paljenje strništa, odnošenje žetvenih ostataka) te povećanjem razgradnje organske tvari obradom, drenažom i povećanom gnojidbom (Vukadinović i Vukadinović, 2016.). Kako bi povećali sadržaj organske tvari potrebno je povećati produkciju biljnog materijala, primjenjivati stajnjak ili neka druga

organska gnojiva, sačuvati žetvene ostatke i primjenjivati konzervacijske sustave obrade tla (Brozović i sur. 2023.). Na sadržaj organske tvari kao i na pH vrijednost utječe niz čimbenika, a sam proces humizacije odnosno povećanja sadržaja organske tvari u tlu je vrlo spor proces i potrebno je više godina za formiranje stabilne organske tvari tla, odnosno humusa. (Vukadinović i Vukadinović, 2016.)

Na dubini od 15-30 cm svi ispitivani parametri bili su pod značajnim utjecajem tretmana. Zabilježene su statistički značajne interakcije između svih tretmana. Na aktualnu kiselost odnosno njeno variranje značajno utjecala obrada tla, kalcizacija i gnojidba. Najveća vrijednost aktualne kiselosti izmjerena je na CTD LY GFR, a najmanja na ST LN FD tretmanima. Kationski izmjenjivački kapacitet bio je pod značajnim utjecajem obrade, gnojidbe i fertilizacije. Najveći KIK izmjeren je na CTS LN GFD tretmanu, a najmanji na CTD LY FD tretmanu. Organski ugljik u tlu bio je pod značajnim utjecajem gnojidbe i kalcizacije. Sve interakcije istraživanih tretmana bile su statistički značajne. Najveći sadržaj organskog ugljika izmjerena je u uzorcima tla na ST LN FD, a najmanji na CTD LN GFD. Jedna od glavnih prednosti konzervacijske obrade tla je da može povećati sadržaj organskog ugljika (SOC) u gornjim slojevima tla. Međutim, postoje neki dokazi da konzervacijska obrada tla može dovesti do nižih izmjerenih vrijednosti SOC-a osobito u dubljim slojevima tla. Konzervacijska obrada tla može smanjiti „dotok“ organske tvari u dublje slojeve tla. To je zato što prakse konzervacijske obrade tla, kao što su nulta obrada ili reducirana obrada tla, manje miješaju tlo u usporedbi s konvencionalnom obradom (oranjem), što može otežati premještanje svježije organske tvari u profil tla. Također, konzervacijska obrada tla može poticati razgradnju organske tvari tla (SOM) u dubljim slojevima tla, uslijed povećane vlažnosti i prozračnosti tla, što može stvoriti povoljnije uvjete za mikrobe koji razgrađuju organsku tvar tla (Li i sur., 2020.). Blanco-Canqui i sur. (2018.) izvijestili su da se organski ugljik tla prelaskom s konvencionalnog sustava obrade tla na konzervacijski većinom zadržava u plićim slojevima tla.

## 6. ZAKLJUČAK

Učinak obrade tla, kalcizacije i gnojidbe na odabrana svojstva tla varirao je ovisno o dubini tla. Na dubini od 0-15 cm, obrada tla i kalcizacija imali su značajan utjecaj na pH, s najvišim pH izmjerenim na konvencionalnoj obradi tla s kalcizacijom, a najnižim pH vrijednost izmjerena je na konzervacijskoj obradi tla bez kalcizacije. Obrada tla i gnojidba su imali značajan utjecaj na kationski izmjenjivački kapacitet (KIK), s najvišim KIK-om izmjerenim na konzervacijskoj obradi tla.

Na dubini od 15-30 cm, svi ispitivani parametri su bili značajno po utjecajem tretmana. Reakcija tla je bila pod značajnim utjecajem obrade tla, kalcizacije i gnojidbe, s najvišom vrijednosti izmjerenoj na konzervacijskoj obradi tla, a najnižom na konvencionalnoj obradi tla. KIK je bio pod značajnim utjecajem obrade tla, gnojidbe i kalcizacije, s najvišim KIK-om izmjerenim na konzervacijskoj obradi tla. Sadržaj organskog ugljika u tlu bio je značajno pod utjecajem gnojidbe i kalcizacije, s najvišim sadržajem organskog ugljika izmjerenim na konvencionalnoj obradi tla.

Važno je napomenuti da učinkovitost konzervacijskih praksi u sinergiji s kalcizacijom i gnojidbom može varirati ovisno o specifičnom tipu tla, klimi, vrsti usjeva i lokalnim uvjetima. Stoga su potrebna daljnja istraživanja, odnosno provedba višegodišnjih pokusa koji bi prikazali optimalna rješenja u vidu popravaka tla uz odabir optimalnog sustava obrade tla.

## 7. LITERATURA

1. Bertić, Larisa (2017). Reakcija biljaka na pH vrijednost tla. Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
2. Blanco-Canqui HO, Ruis SJ (2018). Neobrada i fizičko okruženje tla, *Geoderma*, 326: 164-200.
3. Branković, I. Š. (2020). Utvrđivanje kationskog izmjenjivačkog kapaciteta tala Istočne Hrvatske amonij acetat metodom, Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
4. Brozović, B., Jug, I., Đurđević, B., & Jug, D. (2023). Pokrovni usjevi u konzervacijskoj poljoprivredi. *Glasnik Zastite Bilja*, 46(3).
5. Busari M. A., Kukul S. S., Kaur A., Bhatt R., Dulazi A. A. (2015). Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment, *International Soil and Water Conservation Research*, 3(2): 119-129.
6. Cooper R. J., Hama-Aziz Z. Q., Hiscock K. M., Lovett A. A., Vrain E., Dugdale S. J., Sünnenberg G., Dockerty T., Hovesen P., Noble L. (2020). Conservation tillage and soil health: Lessons from a 5-year UK farm trial (2013–2018). *Soil and Tillage Research*, 202: 104648.
7. Crnčan, M. (2021). Značaj konzervacijske poljoprivrede kao mjere ublažavanja i prilagodbe klimatskim promjenama, Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
8. Čoga, L. i Slunjski, S. (2018). Dijagnostika tla u ishrani bilja - priručnik za uzorkovanje i analitiku tla, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet
9. Đurđević B., Vukadinović V., Bertić B., Jug I., Vukadinović V., Jurišić M., Dolijanović Ž., Andrijačić M. (2011). Liming of acid soils in Osijek-Baranja County, *J. Agric. Sci.*, 56: 187–195.
10. Đurđević B., Jug I., Jug D., Bogunović I., Vukadinović V., Brozović B. (2019). Spatial variability of soil organic matter content in Eastern Croatia assessed using different interpolation methods, *International Agrophysics*, 33: 31-39.
11. Đurđević, B. (2010). Ekspertni model procjene pogodnosti zemljišta za usjeve. Doktorska disertacija, Poljoprivredni fakultet u Osijeku.
12. Đurđević, B. (2014). Praktikum iz ishrane bilja. Osijek: Poljoprivredni fakultet



13. Đurđević, B., Vukadinović, V., Bertić, B., Jug, I., Vukadinović, V., Jurišić, M., Dolijanović, Ž., Andrijačić, M. (2011). Liming of acid soils in Osijek-Baranja County. *Journal of Agricultural Sciences*, 56(3): 187-195
14. FAO. (2016): What is Conservation Agriculture?, <http://www.fao.org/conservation-agriculture/overview/whatis-conservation-agriculture/en/> (pristupljeno 20.01.2024.)
15. Grubešić, N. (2019). Klimatske promjene u poljoprivredi, Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
16. Hardy, D., Tucker, M. R., Stokes, C. E. (2012). Crop Fertilization Based on North Carolina Soil Tests. Department of Agriculture and Consumer Services Agronomic Division Colleen Hudak-Wise.
17. Hatano R. and Lipiec J. (2004). Effects of land use and cultural practices on greenhouse gases fluxes in soil, *Acta Agrophysica*, 109: 1–51.
18. Jug D., Đurđević B., Birkás M., Brozović B., Lipiec J., Vukadinović V., Jug I. (2019). Effect of conservation tillage on crop productivity and nitrogen use efficiency, *Soil and Tillage Research*, 194: 104327.
19. Jug D., Jug I., Brozović B., Vukadinović V., Stipešević B. and Đurđević, B. (2018). The role of conservation agriculture in mitigation and adaptation to climate change, *Poljoprivreda* 24: 35–44
20. Jug I., Brozović B., Đurđević B., Wilczewski E., Vukadinović V., Stipešević B., Jug D. (2021). Response of crops to conservation tillage and nitrogen fertilization under different agroecological conditions, *Agronomy*, 11(2156): 1-18.
21. Jug I., Jug D., Brozović B., Vukadinović V., Đurđević B. (2023). Osnove tloznanstva i biljne proizvodnje, Osijek, Hrvatska: Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znasti Osijek
22. Jug, D., Birkas, M., Kisić, I. (2015). Obrada tla u agroekološkim okvirima. Sveučilišni udžbenik, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek
23. Kisić, I. (2017). Erozijska vjetrom, *Hrvatske vode*, 25(99), str. 1-12
24. Kovaček, I. (2023). Utjecaj konzervacijske obrade tla na fizikalnu degradaciju tla zbijanjem, Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
25. Kuveždić, M. (2016.). Uloga i značaj organske tvari u tlu, Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

26. Kuveždić, M. (2019). Uloga izmjenjivih kationa u očuvanju plodnosti tla, Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
27. Ligang L., Zhoubing G., Kaihua L., Qing Z., Junjun Z. (2023). Impact of conservation tillage on the distribution of soil nutrients with depth, *Soil and Tillage Research*, 225: 105527
28. Li J., Wang Yk., Guo Z., Li J., Tian C., Hua D., Shi C., Wang H., Han J., Xu Y. (2020). Učinci konzervacijske obrade tla na fizikalno-kemijska svojstva tla i prinos usjeva u sušnoj lesnoj visoravni, *Kina. Sci Rep* 10: 4716.
29. Lucić, M. (2019). Značaj pokrovnih usjeva u konzervacijskoj poljoprivredi, Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
30. Martić, G. (2020). Degradacija tla, Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
31. Martinović, T. (2023). Kalcizacija kiselih tala na oranicama, <https://gospodarski.hr/rubrike/ratarstvo-rubrike/kalcizacija-kiselih-tala-na-oranicama/> (16.08.2024.)
32. Špoljar, A. (2007). Tloznanstvo i popravak tla (I dio), Visoko gospodarsko učilište u Križevcima
33. Vukadinović, V. i Vukadinović, V. (2016). Tlo, Gnojidba I Prinosi - što uspješan poljoprivrednik mora znati o tlu, usjevima, gnojidbi i tvorbi prinosa, Osijek, e-izdanje, vlastita naklada.
34. Vukadinović, V., Bertić, B. (2013). Filozofija gnojidbe - sve što treba znati o gnojidbi. Osijek: Vlastita naklada, 2013.
35. Vukadinović, V., Vukadinović, V. (2011). Ishrana bilja. Poljoprivredni fakultet, Osijek
36. Yuan J., Yan L., Li G. Sadiq M., Rahim N., Wu J., Ma W., Xu G., Du M. (2022). Effects of conservation tillage strategies on soil physicochemical indicators and N<sub>2</sub>O emission under spring wheat monocropping system conditions. *Sci Rep*, 12: 7066.
37. Znaor, D. (2009). Hrvatska poljoprivreda ususret i nasuprot klimatskim promjenama. round table „Sigurnost proizvodnje i opskrbe hranom u post-Kyoto periodu“ Zagreb.

## 8. SAŽETAK

Konzervacijska obrada tla (CT) predstavlja ključni korak prema održivoj budućnosti poljoprivrede. Razumijevanje načina na koji konzervacijska obrada tla utječe na ključne faktore zdravlja tla u poljoprivrednoj proizvodnji predstavlja važnu informaciju osobiti u kontekstu razvijanja održive poljoprivredne proizvodnje. Puni potencijal koji nam donosi konzervacijska obrada tla dostiže se u kombinaciji s različitim strategijama gnojidbe i metodama popravaka tla (kalcizacije, humizacije i drugo). Cilj ovog rada je utvrditi učinak različitih sustava obrade tla, kalcizacije i gnojidbe tla na tri ključna indikatora zdravlja tla - pH vrijednost tla, organski ugljik u tlu (SOC) i kationski izmjenjivački kapacitet (KIK). Na dubini od 0-15 cm, obrada tla i kalcizacija imali su značajan utjecaj na pH. Obrada tla i gnojidba su imali značajan utjecaj na kationski izmjenjivački kapacitet (KIK), s najvišim KIK-om izmjerenim na konzervacijskoj obradi tla. Na dubini od 15-30 cm, svi ispitivani parametri su bili značajno po utjecajem tretmana. Važno je napomenuti da učinkovitost konzervacijskih praksi u sinergiji s kalcizacijom i gnojidbom može varirati ovisno o specifičnom tipu tla, klimi, vrsti usjeva i lokalnim uvjetima te su potrebna visegodišnja istraživanja kod preporuke sustava konzervacijske obrade tla.

## **9. SUMMARY**

Conservation tillage (CT) is a key step towards a sustainable future for agriculture. Understanding how conservation tillage affects key factors of soil health in agricultural production is important information, especially in the context of developing sustainable agricultural production. The full potential that soil conservation treatment brings us is achieved in combination with different fertilization strategies and soil repair methods (calcification, humization, etc.). The aim of this paper is to determine the effect of different tillage systems, calcification and soil fertilization on three key soil health indicators - soil pH value, soil organic carbon (SOC) and cation exchange capacity (KIK). At a depth of 0-15 cm, tillage and calcification had a significant effect on pH. Tillage and fertilization had a significant effect on cation exchange capacity (KIK), with the highest KIK measured in the conservation tillage. At a depth of 15-30 cm, all investigated parameters were significantly affected by the treatment. It is important to note that the effectiveness of conservation practices in synergy with calcification and fertilization can vary depending on the specific type of soil, climate, type of crop and local conditions, and multi-year research is needed when recommending a conservation tillage system.

## **10. POPIS TABLICA**

1. Početne analize tla provedene na lokalitetu Čačinci.....15

## 11. POPIS SLIKA

1. Oranje lemešnim plugom.....	2
2. Dopunska obrada tla rotodrljačom.....	2
3. Konzervacijska sjetva ozimih kultura.....	5
4. Različiti sustavi konzervacijske obrade tla.....	5
5. Erozijska tla vodom.....	6
6. Erozijska tla vjetrom.....	7
7. Kritična razina hraniva.....	9
8. Utjecaj pH tla na dostupnost hraniva.....	11

## 12. POPIS GRAFIKONA

1. Varijabilnost pH H <sub>2</sub> O na dubini uzorkovanja 0-15 cm.....	18
2. Varijabilnost pH KCl na dubini uzorkovanja 0-15 cm.....	19
3. Varijabilnost KIK-a na dubini uzorkovanja 0-15 cm.....	20
4. Varijabilnost SOC-a na dubini uzorkovanja 0-15 cm.....	21
5. Varijabilnost pH H <sub>2</sub> O na dubini uzorkovanja 15-30 cm.....	22
6. Varijabilnost pH KCl na dubini uzorkovanja 15-30 cm.....	23
7. Varijabilnost KIK-a na dubini uzorkovanja 15-30 cm.....	24
8. Varijabilnost SOC-a na dubini uzorkovanja 15-30 cm.....	25

# TEMELJNA DOKUMENTACIJA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Diplomski rad

Fakultet agrobiotehničkih znanosti u Osijeku

Sveučilišni diplomski studij, smjer Biljna proizvodnja

**Utjecaj konzervacijske obrade tla, gnojidbe i kalcizacije na određena kemijska svojstva tla**

**Vedran Znamenadžić**

## **Sažetak:**

Konzervacijska obrada tla (CT) predstavlja ključni korak prema održivoj budućnosti poljoprivrede. Razumijevanje načina na koji konzervacijska obrada tla utječe na ključne faktore zdravlja tla u poljoprivrednoj proizvodnji predstavlja važnu informaciju osobito u kontekstu razvijanja održive poljoprivredne proizvodnje. Puni potencijal koji nam donosi konzervacijska obrada tla dostiže se u kombinaciji s različitim strategijama gnojidbe i metodama popravaka tla (kalcizacije, humizacije i drugo). Cilj ovog rada je utvrditi učinak različitih sustava obrade tla, kalcizacije i gnojidbe tla na tri ključna indikatora zdravlja tla - pH vrijednost tla, organski ugljik u tlu (SOC) i kationski izmjenjivački kapacitet (KIK). Na dubini od 0-15 cm, obrada tla i kalcizacija imali su značajan utjecaj na pH. Obrada tla i gnojidba su imali značajan utjecaj na kationski izmjenjivački kapacitet (KIK), s najvišim KIK-om izmjerenim na konzervacijskoj obradi tla. Na dubini od 15-30 cm, svi ispitivani parametri su bili značajno po utjecajem tretmana. Važno je napomenuti da učinkovitost konzervacijskih praksi u sinergiji s kalcizacijom i gnojidbom može varirati ovisno o specifičnom tipu tla, klimi, vrsti usjeva i lokalnim uvjetima te su potrebna visegodišnja istraživanja kod preporuke sustava konzervacijske obrade tla

**Rad je izrađen pri:** Fakultet agrobiotehničkih znanosti u Osijeku

**Mentor:** prof. dr. sc. Boris Đurđević

**Broj stranica:** 37

**Broj grafikona i slika:** 16

**Broj tablica:** 1

**Broj literaturnih navoda:** 37

**Broj priloga:** 0

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Ključne riječi:** sustavi obrade tla, mineralna gnojidba, kalcizacija, zdravlje tla, svojstva tla

**Datum obrane:**

**Stručno povjerenstvo za obranu:**

1. Prof. dr. sc. Irena Jug, predsjednik
  2. Prof. dr. sc. Boris Đurđević, mentor
  3. Prof. dr. sc. Danijel Jug, član
  4. Prof. dr. sc. Brigita Popović, zamjenik člana
- Zapisničar: izv. Prof. dr. sc. Bojana Brozović



# BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek

Graduate thesis

Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

University Graduate Studies Plant production, course Plant production

**The influence of conservation tillage, fertilization and calcification on certain chemical properties of  
the soil**

**Vedran Znamenaček**

## **Abstract:**

Conservation tillage (CT) is a key step towards a sustainable future for agriculture. Understanding how conservation tillage affects key factors of soil health in agricultural production is important information, especially in the context of developing sustainable agricultural production. The full potential that soil conservation treatment brings us is achieved in combination with different fertilization strategies and soil repair methods (calcification, humization, etc.). The aim of this paper is to determine the effect of different tillage systems, calcification and soil fertilization on three key soil health indicators - soil pH value, soil organic carbon (SOC) and cation exchange capacity (KIK). At a depth of 0-15 cm, tillage and calcification had a significant effect on pH. Tillage and fertilization had a significant effect on cation exchange capacity (KIK), with the highest KIK measured in the conservation tillage. At a depth of 15-30 cm, all investigated parameters were significantly affected by the treatment. It is important to note that the effectiveness of conservation practices in synergy with calcification and fertilization can vary depending on the specific type of soil, climate, type of crop and local conditions, and multi-year research is needed when recommending a conservation tillage system.

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

**Mentor:** Full Professor Boris Đurđević

**Number of pages:** 37

**Number of figures:** 16

**Number of tables:** 1

**Number of references:** 37

**Number of appendices:** 0

**Original in:** Croatian

**Key words:** soil tillage systems, mineral fertilization, liming, soil health, soil properties

**Thesis defended on date:**

**Reviewers:**

1. Full Professor Irena Jug, chairman
2. Full Professor Boris Đurđević, mentor
3. Full Professor Danijel Jug, membe
4. Full Professor Brigita Popović, substitute member

Scorer: Associate Professor Bojana Brozović