Vertikalna varijabilnost reakcije tla u pseudogleju pri rastućim dozama mineralne dušične gnojidbe

Crkvenac, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Agriculture / Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:204:611072

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**

Repository / Repozitorij:

Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture

VERTIKALNA VARIJABILNOST REAKCIJE TLA U PSEUDOGLEJU PRI RASTUĆIM DOZAMA MINERALNE DUŠIČNE GNOJIDBE

DIPLOMSKI RAD

Luka Crkvenac

Zagreb, rujan, 2019.

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture

Diplomski studij:

Agroekologija – Mikrobna biotehnologija u poljoprivredi

VERTIKALNA VARIJABILNOST REAKCIJE TLA U PSEUDOGLEJU PRI RASTUĆIM DOZAMA MINERALNE DUŠIČNE GNOJIDBE

DIPLOMSKI RAD

Luka Crkvenac

Mentor:

doc.dr.sc. Aleksandra Perčin

Zagreb, rujan, 2019.

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture

IZJAVA STUDENTA

O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, **Luka Crkvenac**, JMBAG 0178100372, rođen/a 13.06.1995. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradila/izradio diplomski rad pod naslovom:

VERTIKALNA VARIJABILNOST REAKCIJE TLA U PSEUDOGLEJU PRI RASTUĆIM DOZAMA MINERALNE DUŠIČNE GNOJIDBE

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedina autorica/jedini autor ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznata/upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____

_____
Potpis studenta / studentice

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studenta/ice Luke Crkvenca, JMBAG 0178100372, naslova

VERTIKALNA VARIJABILNOST REAKCIJE TLA U PSEUDOGLEJU PRI RASTUĆIM DOZAMA MINERALNE DUŠIČNE GNOJIDBE

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____ , dana _____ .

Povjerenstvo: potpisi:

1. doc.dr.sc. Aleksandra Perčin, mentor _____
2. izv. prof.dr.sc. Aleksandra Bensa, član _____
3. doc.dr.sc. Ivana Šestak, član _____

Zahvala

Posebno se zahvaljujem mentorici doc.dr.sc Aleksandri Perčin na ukazanom povjerenju i pomoći tokom izrade ovoga rada.

Zahvaljujem se i svim profesorima kod kojih sam imao mogućnost proširenja znanja i poboljšanja aspekata na agroekološki pogled.

I na kraju, najveću zaslugu za ono što sam postigao pripisujem svojim roditeljima i užoj obitelji koji su bili uvijek uz mene i u dobrim, i u lošim trenucima, te bez kojih ovo sve što sam postigao ne bi bilo moguće.

Veliko Hvala svima!

Sadržaj

1.Uvod 1

1.1 Ciljevi istraživanja 1

2. Pregled literature 2

2.1 Pseudoglej 2

2.2 Zakiseljavanje tla – uzroci i posljedice 3

3. Materijali i metode 10

3.1 Metodologija istraživanja 10

3.2 Tip tla i uzorkovanje tla 10

3.3 Laboratorijsko istraživanje 11

3.4 Statistička analiza 11

4. Rezultati i rasprava 12

4.1. Varijabilnost reakcije tla ovisno o dubini i dušičnoj gnojidbi 12

4.2. Ovisnost reakcije tla o sadržaju kationa i mehaničkom sastavu tla 16

5. Zaključci 19

6. Literatura 20

Životopis 23

Sažetak

Diplomskog rada studenta **Luke Crkvenca**, naslova

VERTIKALNA VARIJABILNOST REAKCIJE TLA U PSEUDOGLEJU PRI RASTUĆIM DOZAMA MINERALNE DUŠIČNE GNOJIDBE

Rezultati mnogobrojnih znanstvenih istraživanja ukazuju da dugogodišnja mineralna dušična gnojidba uzrokuje zakiseljavanje tla. Poznavanje pojedinih doprinosa na zakiseljavanje tla od iznimne je važnosti kako bi se mjerama održivog gospodarenja tlom očuvala proizvodna uloga tla. Cilj rada bio je utvrditi utjecaj dubine tla, rastućih doza dušične gnojidbe, teksture tla kao i sadržaja iona kalcija i magnezija na vertikalnu varijabilnost reakcije tla u pseudogleju. Istraživanje je obuhvatilo analizu uzoraka tla prikupljenih do dva metra dubine u 2007. i 2008. godini sa višegodišnjeg poljskog pokusa smještenog u centralnom dijelu RH sa četiri rastuća gnojidbena tretmana u rasponu od 0-300 kg N/ha. Rezultati ukazuju da su rastuće doze mineralne dušične gnojidbe utjecale na značajno zakiseljavanje tla i u 2007. i 2008. godini u profilu do 50 cm dubine. Tako je u površinskom sloju tla u 2007. godini primjena 200 kg N/ha doprinijela smanjenju reakcije tla za 1,5 pH jedinicu, a primjena 300 kg N/ha u 2008. godini smanjenju reakcije tla za 0,7 pH jedinica. Utvrđen je i značajan utjecaj dubine profila tla na povećanje reakcije tla koje je bilo uvjetovano ispiranjem slobodnih karbonata u dublje slojeve tla. Smanjenjem sadržaja gline, praha i krupnog pijeska reakcija tla je rasla te je bila u jakoj i pozitivnoj korelaciji sa sadržajem istraživanih kationa (pH vs Ca^{2+}, r = 0,661; pH vs Mg^{2+}, r = 0,691).

Ključne riječi: tlo, zakiseljavanje, kalcij, magnezij, tekstura tla

Summary

Of the master's thesis – student **Luka Crkvenac,** entitled

VERTICAL VARIABILITY OF SOIL REACTIONS IN STAGNOSOL DUE TO INCREASE DOSES OF MINERAL NITROGEN FERTILIZATION

The results of numerous scientific studies indicate that long-term mineral nitrogen fertilization caused soil acidification. Knowledge of impact of individual contributors to the soil acidification is very important in order to maintain soil productive function through sustainable management practice. The aim of this thesis was to determine the influence of soil depth, increasing doses of nitrogen fertilization, soil texture and content of calcium and magnesium ions on the vertical variability of soil reaction in Stagnosols. The study included analysis of soil samples collected up to two meters depth in 2007 and 2008 from long-term experimental field located central part of Croatia with four nitrogen treatments in the range of 0-300 kg N/ha. The results indicate that increasing doses of applied nitrogen significantly influenced on soil acidification up to 50 cm depth in 2007 and 2008. In surface soil layer in 2007, the application of 200 kg N/ha contributed to reduction of soil reaction for 1.5 pH units, and the application of 300 kg N/ha in 2008 reduced the soil reaction for 0.7 pH units.
Also, significant influence of soil depth was recorded. Soil reaction increased significantly with increase soil depth due to carbonate leaching in dipper soil layers. The decrement of clay, silt and sand content increase soil reaction which was in the strong and positive correlation with the content of the investigated cations (pH vs Ca^{2+}, r = 0.661; pH vs Mg^{2+}, r = 0.691).

Keywords: soil, acidification, calcium, magnesium, soil texture

1.Uvod

Pseudoglej je tlo rasprostranjeno po cijeloj Hrvatskoj, pretežito u ravničarskom djelu te je drugo najrasprostranjenije tlo u Hrvatskoj, raširenо većinom unutar agroekosustava na području kontinentalnog dijela države (Bogunović i sur., 1998; Husnjak, 2014). Karakteriziraju ga brojna proizvodna ograničenja uključivo i kiselu reakciju tla i vrlo nisku opskrbljenost hranivima.

Dušik (N) je značajan element, neophodan za rast i razvoj biljaka i životinja. S obzirom na njegov nedostatak u tlu u biljci pristupačnim oblicima dušična gnojidba je neizostavna agrotehnička mjera koja u suvišnim količinama može biti prijetnja okolišu. Suvišne količine različitih oblika dušika u zraku, vodenim sustavima i tlu (NO_3^-, NH_4^+, NO_x i N_2O) mogu rezultirati mnogim opasnostima kao što su: eutrofikacija površinskih i podzemnih voda, zakiseljavanje tla, gubitak biološke raznolikosti, smanjivanje kakvoće zraka (povećanje razine stakleničkih plinova zbog emisije N_2O) pri čemu se narušava povoljno stanje okoliša ali i zdravlje ljudi (Cox i Atkins 1979., Howarth i Farber 2002.). Primjera radi, povišene koncentracije NO_3^- u pitkoj vodi mogu dovesti do methemoglobinemije u dojenčadi i to formiranjem kancerogenih nitrozamina u želucu (US EPA, 1990). Navedene prijetnje okolišu između ostalog su uzrokovane slabim iskorištenjem primijenjene dušične gnojidbe koje se kreće u rasponu od 30-50 % (Tilman i sur. 2002). U pogledu utjecaja suvišne dušične gnojidbe i same proizvodnje dušičnih gnojiva na kvalitetu zraka, poljoprivreda je odgovorna za 60 % globalnih antropogenih emisija N_2O (Aguilera i sur. 2013).

U područjima povećane evapotranspiracije i obilnih oborina zakiseljavanje tla je stalni proces koji može biti ili ubrzan aktivnošću biljaka, životinja i ljudi ili usporen pažljivom upravljačkom praksom (Tian i Niu., 2015.) Primjena N gnojiva, poput uree i amonijskog sulfata u tlu pridonosi produkciji H^+ iona u procesima nitrifikacije pri čemu u prvom stupnju ovog procesa nakon oksidacije NH_4^+ iona uz nitrite se oslobađaju i vodikovih ioni. U današnje vrijeme pojava degradacijskih procesa, uključivo i zakiseljavanje tla, dovela je do nepoželjnog stanja tla povezanog s vodozračnim odnosima u tlu, unosom hranjivih tvari, odgovarajućom drenažom i drugim parametrima ključnim za pravilan rast i razvoj biljaka (Kisić i sur., 2002; Bogunović i sur., 2014). Ključni čimbenik za većinu degradacijskih procesa leži u neadekvatnom upravljanju (Bašić i sur., 2002; Bogunović i sur., 2015) koji je povezan s gubitkom organske tvari (Bilandžija i sur., 2016; Birkás i sur., 2008).

1.1 Ciljevi istraživanja

Cilj rada bio je utvrditi utjecaj dubine tla, rastućih doza dušične gnojidbe, teksture tla kao i sadržaja iona kalcija i magnezija na vertikalnu varijabilnost reakcije tla u pseudogleju.

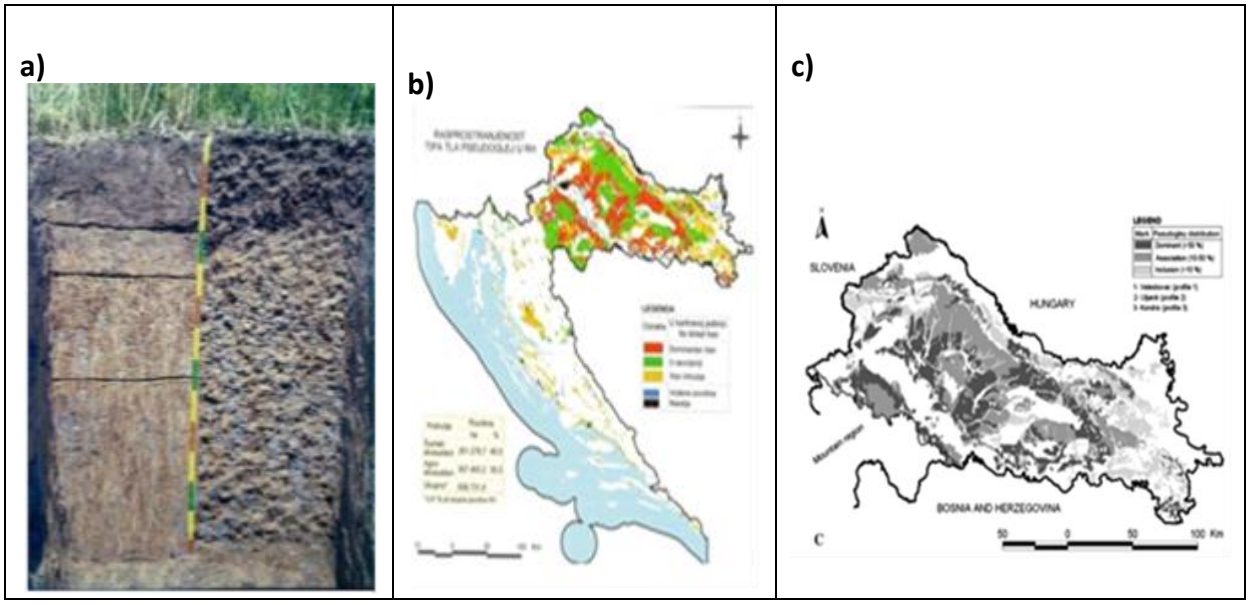
2. Pregled literature

2.1 Pseudoglej

Pseudoglej je tlo koje nastaje prevlaživanjem nakon oborinskih voda zbog teško propusnog horizonta i/ili sloja ili cjelokupnog profila (slika 1). Dijeli se na podtipa: obronačni i ravničarski. Ta su tla vrlo siromašna organskom tvari te su vrlo kisela što uzrokuje inaktivaciju stvorenih ili dodanih hranjiva u tlo (Husnjak 2014).

Pseudoglej je tlo sa nepropusnim horizontom i prekomjernim cikličnim vlaženjem površinskim vodama. Izmjenom mokre i suhe faze tijekom godine izmjenjuju se redukcijsko – oksidacijski procesi. U uvjetima niskog redoks potencijala i u prisustvu organske materije dolazi do redukcije željeza i mangana u mobilne komponente. Ovo tlo karakterizira izmjena razdoblja (suho i vlažno) u kojima se događaju procesi redukcije odnosno oksidacije što mu daje karakterističan mramorni izgled sivo-hrđave boje (Husnjak 2014).

U pogledu kemijskih značajki ovo je tlo jako kisele reakcije i malog kapaciteta adsorpcije, niskog sadržaja humusa i dušika osim u tankom Aoh horizontu. Slabo je opskrbljeno hranjivima posebno fosforom. Prilikom korištenja ovog tla potrebno je poduzeti sljedeće mjere: duboku obradu, kalcizaciju, gnojidbu fosforom i kalcijem i zaštitu od erozije (Husnjak 2014).

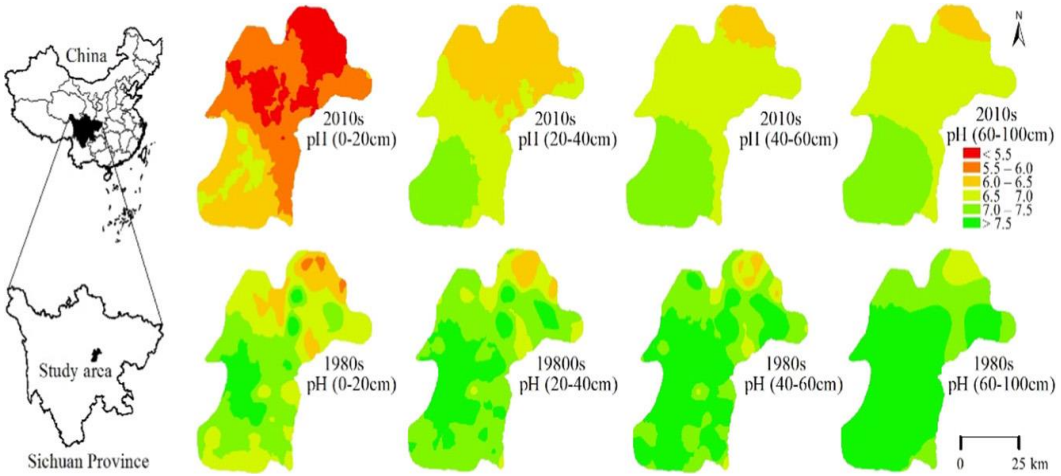


Slika 1. Pseudoglej (a) otvoreni profil (b i c) rasprostranjenost na području Republike Hrvatske
Izvor: http://pedologija.com.hr/literatura/Pedogeneza/Automorfna_III.pdf (a), Husnjak 2014. (b), Rubinić i sur. 2014. (c)

2.2 Zakiseljavanje tla – uzroci i posljedice

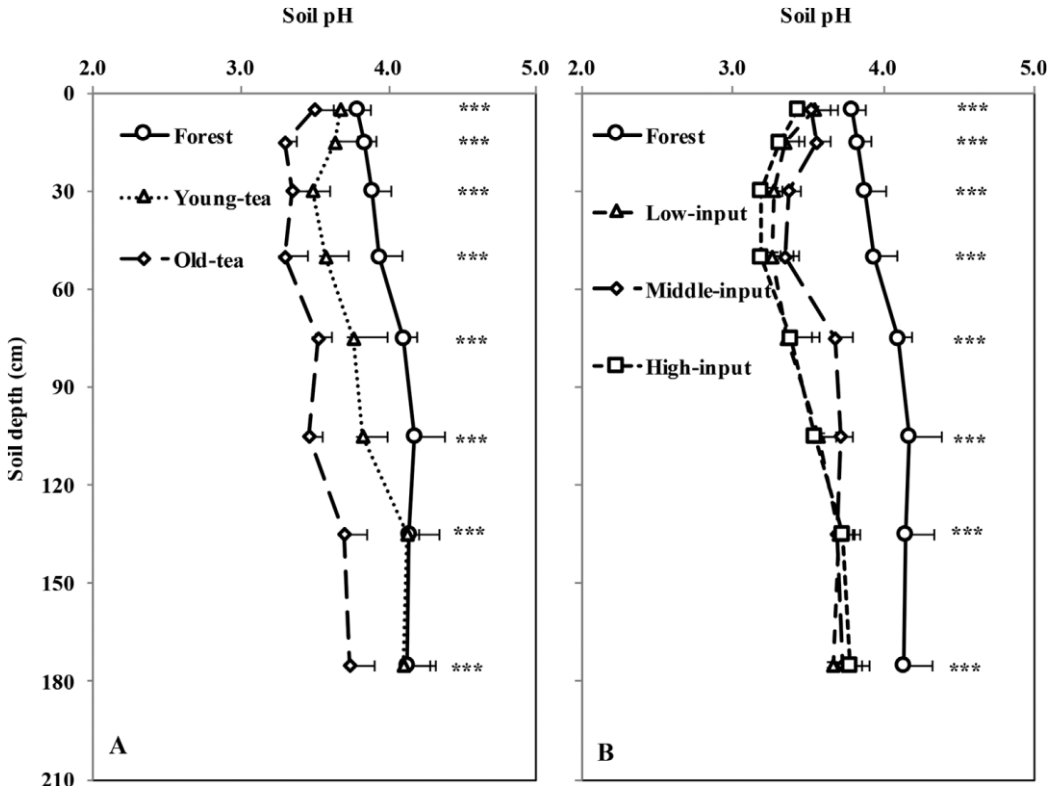
Stupanj kiselosti ili alkaliziranosti tla izražen kao pH vrijednost još zvan i reakcija tla vrlo je važna varijabla jer utječe na mnoge kemijske i biološke procese u tlu (Brady i Wail 2010.) i jedan je od važnijih faktora u procjeni proizvodnog potencijala tla (Seatz i Peterson 1965.). Zakiseljavanje tla osobito je izraženo u regijama sa visokom količinom oborina (Brady i Wail 2010.), a sljedeći procesi dodatno doprinose zakiseljavanju tla: akumulacija organske tvari, oksidacija dušika (proces nitrifikacije), oksidacija sumpora, usvajanje kationa iz tla putem korijena biljaka (Brady i Wail 2010.). Uz navedene procese doprinos atmosfere na zakiseljavanje tla može biti dvojak, povećavati kiselost tla kiselim kišama koje sadrže dušičnu i sulfatnu kiselinu uz NH_4^+ ione (Sparks 2003.), ali i reducirati zakiseljavanje taloženjem zamjenjivih baznih kationa (kalcija, magnezija i kalija) (Cecchini i sur. 2019.).

Uz sve spomenuto i promjene u načinu korištenja zemljištem također pospješuju zakiseljavanje tla. Primjerice u kineskoj ravnici Chengdu u tridesetogodišnjem razdoblju (1980.-2010.) došlo je značajnijeg zakiseljavanja površinskih slojeva tla (slika 2) osobito iz razloga jer je na tom području došlo do velike transformacije u korištenju poljoprivrednog zemljišta iz tradicionalnih plodoreda u kojemu su se rotirali riža-pšenica/riža-uljana repica u plodored u kojima je uz rižu povrće zauzelo mjesto ratarskim kulturama (Li i sur. 2020.). Autori navode da je u profilu tla do metra dubine zabilježeno smanjenje pH vrijednosti za 1,20 pH jedinica u površinskom sloju tla (0-20 cm), za 0,72 pH jedinice u pod površinskom sloju tla (20-40 cm), za 0,66 pH jedinica u sloju tla od 40-60 cm te za 0,68 pH jedinica u najdubljem sloju tla (60-100 cm). Ističu da je i matični supstrat također bio važan čimbenik u zakiseljavanju tla te da je zakiseljavanje dubljih slojeva bilo uvjetovano i gustoćom tla i sadržajem pijeska. Odnosno da je u dubljim slojevima tla niže volumne gustoće i većeg sadržaja pijeska zakiseljavanje bilo izraženije zbog lakšeg prodora kiselina (Li i sur. 2020.).



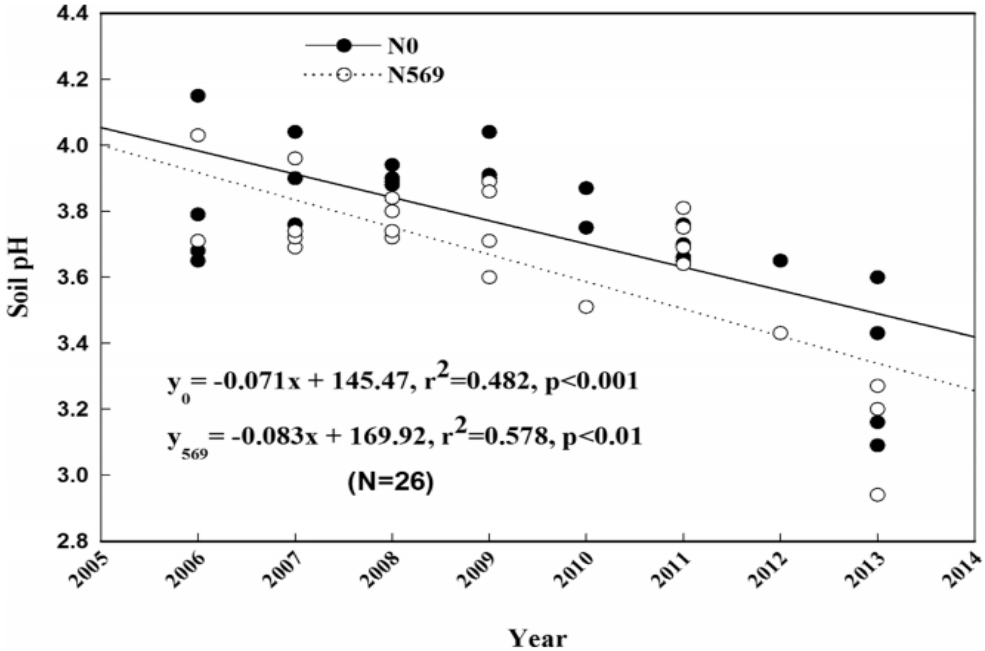
Slika 2. Prostorno-vremenska raspodjela reakcije tla na području Kine, Chengdu provincija (Izvor: Li i sur. 2020.)

Još jedno istraživanje govori u prilog da prenamjena načina korištenja zemljišta uz prekomjerne doze apliciranog dušika ima značajnu ulogu u promjeni reakcije tla. Yan i sur. (2018.) proučavali su utjecaj potencijalne promjene načina korištenja zemljišta iz prirodnih šumskih predjela u plantaže čaja. Njihovo terensko istraživanje ponajprije je htjelo utvrditi kako takva promjena utječe na tlu u smislu njegova zakiseljavanja i predstavlja li prijetnju okolišu u pogledu ispiranja dušika (N) i fosfora (P) do dva metra dubine profila tla. Istraživanje je uključivalo dva nasad čaja različite starosti kultivacije (10 i 100 godina), jedan šumski predio kao i tri doze aplicirane dušične gnojidbe (300, 600, 900 kg N/ha – mali, srednji i visoki input). Izvijestili su da rastuće doze dušične gnojidbe u nasadima značajno snižavaju reakciju tla u odnosu na kontrolnu šumsku lokaciju (slika 3.) Najnižu pH vrijednost utvrdili su u profilu tla od 20-60 cm za što kao razlog uz utjecaj dušične gnojidbe izdvajaju i korijenje čaja koje je najrazvijenije na toj dubini tla i koje otpušta H^+ ione i time dodatno doprinosi zakiseljavanju tla. U pogledu prijetnje okolišu ispiranjem hraniva autori također izdvajaju da starost nasada i rastuće doze značajno doprinose akumulaciji i nitratnog i amonijskog oblika dušika do 90 cm dubine, te fosfora do 60 cm dubine tla, uz tendenciju i prodiranja značajnijih količina u dublje slojeve tla zbog vremenskih prilika koje su osobito nepovoljne u pogledu godišnje količine oborina koja na istraživanom području iznosi 1553 mm (Yan i sur. 2018.)



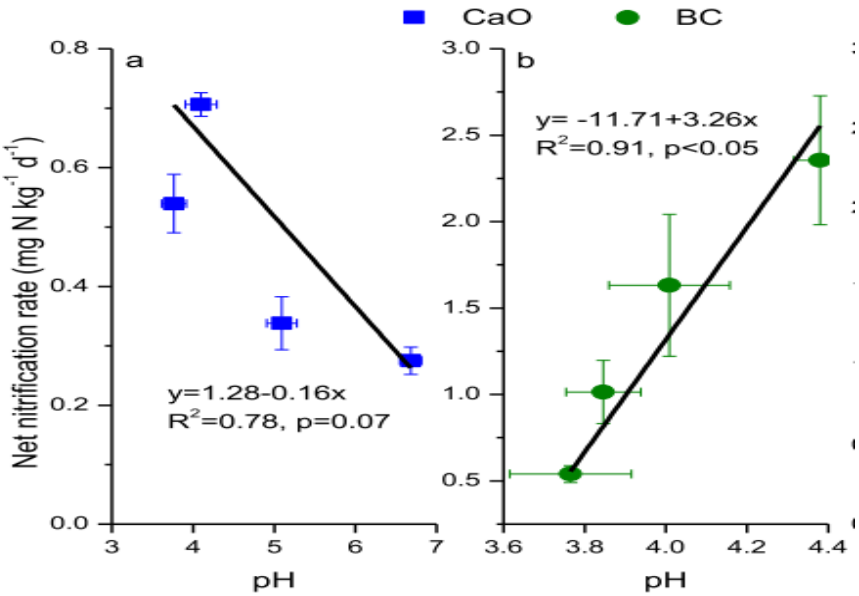
Slika 3. Vertikalna raspodjela reakcije tla s obzirom na rastuće doze dušične gnojidbe i starost nasada čaja
(Izvor: Yan i sur. 2018.)

Još jedno slično istraživanje na području Kine u plantažama čaja ukazuje na zakiseljavanje tla zbog prekomjerne gnojidbe dušikom. Yang i sur. (2018.) u nasadima čaja (*Camellia sinensis*) pratili su između ostaloga i osmogodišnji (2006.-2013.) utjecaj dušične gnojidbe od 569 kg/ha/god na reakciju tla. U odnosu na kontrolni tretman utvrdili su značajnu vremensku ovisnost smanjenja reakcije tla o primijenjenoj gnojidbi (slika 4.). Dodatno su izvijestili i o značajnoj količini ispranih kationa (kalcija, magnezija, kalija).



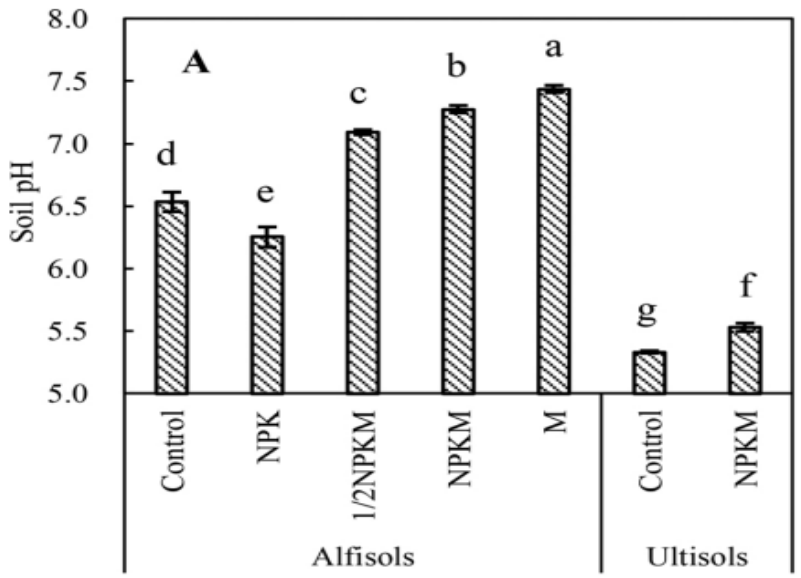
Slika 4. Vremenska varijabilnost reakcije tla u ovisnosti o dušičnoj gnojidbi u profilu tla od 0-40 cm
(Izvor: Yang i sur. 2018.)

Iz prethodna dva primjera vidljivo je da plantaže čaja u Kini imaju značajan utjecaj na smanjenje plodnosti tla u pogledu njegovog zakiseljavanja. Ostaje činjenica da kultivacija čaja zahtjeva kiselu reakciju tla, a dušična gnojidba samo dodatno zakiseljava tlo. Kako bi utvrdili utjecaj pojedinih poboljšivača tla [CaO i biochar (BC)] na povećanje reakcije tla uz istovremeno minimiziranje efekta nitrifikacijskih procesa uzrokovanih mikrobiološkom aktivnošću Wang i sur. (2018.) proveli su istraživanje utvrđivanja optimalnih doza primijenjenih poboljšivača na stupanj nitrifikacije pri određenim vrijednostima reakcije tla. Utvrdili su da nitrifikacijski procesi postižu svoj maksimum pri pH vrijednosti od 4,40 (slika 5) te ako se želi umanjiti njihov utjecaj kako bi se smanjila količina $N\text{-}NO_3$ u tlu koja bi predstavljala prijetnju okolišu i povećale količine $N\text{-}NH_4$ koje čaj preferira potrebno je dodatkom dostatnih količina poboljšivača (CaO i BC) povisiti reakciju tla na 5,10 (Wang i sur. 2018.).



Slika 5. Ovisnost stupnja nitrifikacije o reakciji tla i dodatku poboljšivača tla (Izvor: Wang i sur. 2018.)

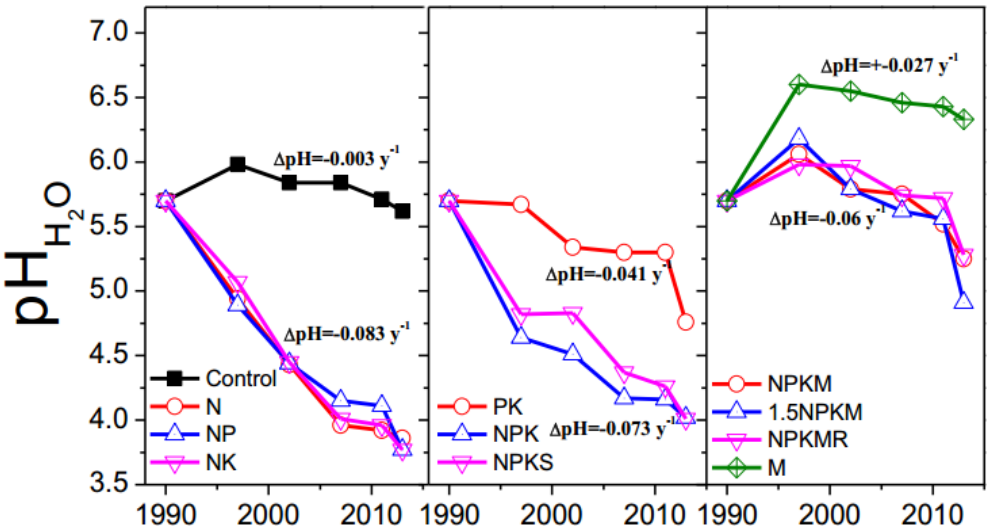
Da primjena stajskog gnoja može biti alternativna agrotehnička mjera koja će usporiti zakiseljavanje tla posebno ono uzrokovano primjenom mineralnih gnojiva ukazali su Shi i sur. (2019.). Višegodišnje poljsko istraživanje proveli su u južnom dijelu Kine koje je uključivalo gnojidbu mineralnim NPK gnojivima, stajskim gnojem (M) kao i njihovu kombinaciju (1/2 NPKM i NPKM). Rezultati njihovih istraživanja ukazuju da je primjena stajskog gnoja povećala pH vrijednost tla (slika 6), ali i puferski kapacitet tla i sukladno tome otpornost tla na zakiseljavanje u oba istraživana tipa tla. Kao glavni uzrok ove pojave navode protoniranje organskih aniona disocijacijom slabe kisele funkcionalne grupe organske tvari tla (uz oslobađanje izmjenjivih baznih kationa) što u konačnici daje neutralne molekule i smanjuje zakiseljavanje.



Slika 6. Varijabilnost rekacije tla s obzirom na primjenu gnojiva različitog porijekla (Izvor: Shi i sur. 2019.)

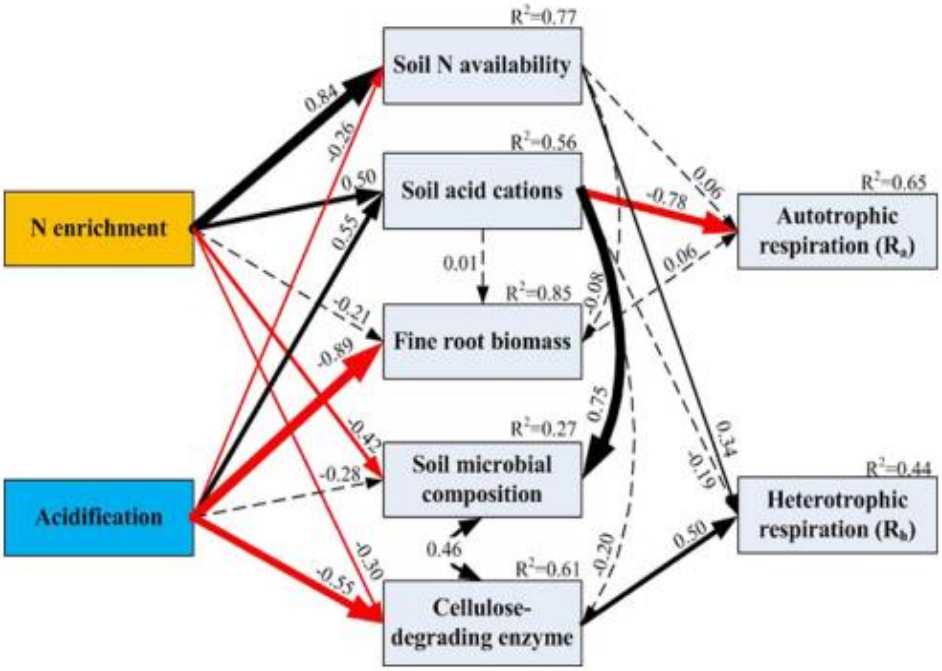
Zakiseljavanje tla osim što ima za posljedicu smanjenje proizvodne uloge tla, negativno utječe i na bioraznolikost tla. Tako su Tibbett i sur. (2019.) na području Engleske proveli istraživanje utjecaja primjene elementarnog sumpora i željezo-sulfata na kemijske i biološke značajke tla. Utvrdili su značajno smanjenje reakcije tla osobito dodatkom elementarnog sumpora [Brimestone 90 (90% S)], smanjenje sadržaja kalcija, magnezija i kalija te povećanje mobilnog aluminija. Autori nadodaju da su dodatak sumpora u tlo i zakiseljavanje tla indirektno utjecali na ekologiju tla osobito na značajno smanjenje bakterija, crva i nematoda u tlu te na značajno povećanje gljivica.

Tao i sur. (2019.) proučavali su utjecaj dugogodišnje (1990.-2013.) različite mineralne (N,P, K) i organske gnojidbe (M) i njihove kombinacije ne samo na zakiseljavanje tla (slika 7) nego i na njegove posljedice osobito na minerologiju feričnog kambisola. Osim što su utvrdili značajan utjecaj primijenjenih gnojiva na zakiseljavanje tla, utvrdili su da je dugogodišnja dušična gnojidba utjecala i na smanjenje željeznih oksida u tlu, te da bi transformacija željeznih oksida i akumulacija hematita u tlu mogla dodatno utjecati na smanjenje puferskog kapaciteta tla u procesu zakiseljavanja.



Slika 7. Vremenska varijabilnost reakcije tla s obzirom na različito porijeklo primijenjenih gnojiva
(Izvor: Tao i sur. 2019.)

Li i sur. (2017.) imali su cilj objasniti uzročno posljedičnu vezu dušične gnojidbe i zakiseljavanja tla na respiraciju tla s obzirom na njihov značajan utjecaj na mikrobiološku aktivnost tla i rast korijena (slika 8). Nakon trogodišnjeg istraživanja utvrdili su značajno smanjenje reakcije tla i smanjenje respiracije tla u prosjeku između 22 i 26 %. Dodatak dušika (r = 0,50) i zakiseljavanje tla (r = 0,55) jako su utjecali na povećanje sadržaja kiselih kationa u tlu, smanjenu aktivnost enzima koji razgrađuje celulozu (r = -0,55), te vrlo jako povećanje mikrobiološke aktivnosti (r = 0,75). Autori na temelju svojih rezultata prepoznaju zakiseljavanje tla kao važan mehanizam koji utječe na promjene u respiraciji tla i smatraju da je zakiseljavanje tla jedan od čimbenika koji je nužno ugraditi u biogeokemijske modele kako bi se poboljšala predviđanja pojedinih doprinosa u ciklusu kruženja ugljika u ekosustavu.



Slika 8. Utjecaj dušične gnojidbe na zakiseljavanje tla, pristupačnost dušika, biološke značajke tla i njegovo disanje
(Izvor: Li i sur. 2017.)

3. Materijali i metode

3.1 Metodologija istraživanja

Istraživanje u sklopu ovog diplomskog rada je provedeno na stacionarnom poljskom pokusu u blizini Parka prirode Lonjsko polje na dreniranom tlu u selu Potok. Istraživanje je provedeno u sklopu znanstvenog projekta ["Gnojidba dušikom prihvatljiva za okoliš", voditelja projekta prof.dr.sc. Milana Mesića (178-1780692-0695, MZOŠ)] koji se u razdoblju od 1996.-2018. provodio na pokusnoj površni. Lokacija istraživanja smještena je u centralnom dijelu Republike Hrvatske na području umjerene kontinentalne klime sa prosječnom godišnjom temperaturom zraka od 10,7 °C i sumom oborine od 865 mm (referentno razdoblje 1965.-1990.).

Pokus se sastojao od 10 tretmana sa šest rastućih doza primijenjene mineralne dušične gnojidbe u rasponu od 0 do 300 kg N ha^{-1} te konstantnim količinama fosfora (120 kg P ha^{-1}) i kalija (180 kg K ha^{-1}) koje su primijenjene na svim tretmanima osim kontrolnog. Za utvrđivanje ciljeva ovog diplomskog rada izdvojena su sljedeća četiri tretmana:

1. 0 kg N/ha (N0)
2. 100 kg N/ha (N100)
3. 200 kg N/ha (N200)
4. 300 kg N/ha (N300)

Ozima pšenica (Triticum aestivum L.), uljana repica (Brassica napus L.), kukuruz (Zea Mays L.) i soja (Glycine L. max) bile su četiri kulture koje su se rotirale u plodoredu u razdoblju od 1997. do 2008. godine, s tim da je u 2007. godini test kultura bila kukuruz (hibrid Pioneer PR38H67), a u 2008. godini pšenica (sorte Fiesta). Ovisno o metodologiji pokusa provedena je jesenska i predsjetvena gnojidba kao i proljetna prihrana kultura različitim formulacijama dušičnih gnojiva: NPK (6-18-36, 7-20-30, 10-20-30), urea i KAN.

3.2 Tip tla i uzorkovanje tla

Istraživani tip tla na pokusnom polju je drenirani pseudoglej ravničarskog podtipa i distrične forme, kojeg karakterizira sljedeća građa profila: P–Eg–Btg–Btg/C–C. Reakcija tla je kisela u površinskom i podpovršinskom horizontu, slabo je humusno, opskrbljenost fosforom u oraničnom horizontu je dobra, a kalijem umjerena. Dublje u profilu javljaju se slobodni karbonati koji su isprani iz gornjih horizonata (Mesić i sur. 2008).

Uzorkovanje tla provedeno je u dva navrata od lipnja 2007. do lipnja 2008. i to: 15.06.2007. za vrijeme vegetacije kukuruza i 26.06.2008. za vrijeme vegetacije ozime pšenice. Pojedinačni uzorci tla uzorkovani su na osam dubina profila tla do dubine od dva metra svakih 25 cm (0-25 cm, 25-50 cm, 50-75 cm, 75-100 cm, 100-125 cm, 125-150 cm,

150-175 cm i 175-200 cm) u četiri ponavljanja na svakom već spomenutom gnojidbenom tretmanu. Ukupno je prikupljeno 256 uzoraka tla.

3.3 Laboratorijsko istraživanje

U 256 uzoraka tla elektrokemijski je određena reakcija tla (pH vrijednost) i to mjerenjem razlike potencijala između dviju elektroda (radne i referentne) uronjenih u suspenziju tla. Određivanje pH vrijednosti provedeno je prema protokolu HRN ISO 10390:2004 u 1 mol/L otopini kalij klorida u omjeru 1:2,5 (w/v). Za mjerenje je korišten Bechamov Φ 72 pH-metar i kombinirana staklena elektroda.

U 256 uzoraka tla simultanom metodom ionske kromatografije određen je sadržaj vodotopivih iona kalcija i magnezija. Ekstrakcija tla u omjeru 1:10 (w/v) provedena je u ultračistoj vodi (0,055 µS cm^{-1}) prema ÖNORM L 1092 (1993) normi. Nakon ekstrakcije uzorci su centrifugirani 5 min na 12000 rpm (Eppendorf 5810R) te filtrirani u dva navrata, kroz filter papir i cartridge - OnGuard IIP, 1cc, Dionex i Sep-Pak Vac and OASIS HLM, Waters. Detekcija i kvantifikacija sadržaja spomenutih iona određena je na ionskom kromatografu (ICS–1000 Ion Chromatography System, Dionex) na Ion Pac CS 16 (5x250 mm) separacijskoj koloni.

U prosječna 32 uzorka tla određen je mehanički sastav, odnosno, raspodjela veličine čestica u uzorcima tla i to metodom prosijavanja i sedimentacije u natrijevom pirofosfatu (ISO 11277, 2004).

3.4 Statistička analiza

Statistička obrada podataka provedena je u statističkom programu SAS 9.1.3. analizom varijance (ANOVA). Razlike srednjih vrijednosti reakcije tla u ovisnosti o rastućim dozama mineralne dušične gnojidbe testirane su Fisher LSD testom uz vjerojatnost pogreške od 5 % (p=0,05). Također istim Fisher LSD testom uz istu vjerojatnost pogreške od 5 % (p=0,05) testiran je i utjecaj dubine profila tla na varijabilnost reakcije tla.

U istom statističkom programu određeni su Pearsonovi korelacijski koeficijenti (r) za ovisnost reakcije tla o udjelima frakcija mehaničkih elemenata tla (krupni pijesak, sitni pijesak, prah i glina), kao i prisutnom sadržaju kalcijevih i magnezijevih iona.

4. Rezultati i rasprava

4.1. Varijabilnost reakcije tla ovisno o dubini i dušičnoj gnojidbi

U tablici 4.1 prikazana je opisna statistika za reakciju tla do dva metra dubine za svaki istraživani gnojidbeni tretman u 2007. i 2008. godini. Tako je u 2007. godini reakcija tla varirala od 3,70 do 7,77, a u 2008. od 3,20 do 7,65 što odgovara vrlo širokom rasponu reakcije od vrlo kisele do alkalne (Škorić 1982.). Varijabilnost srednjih vrijednosti reakcije tla prema tretmanima ukazuje na relativno povećanje pH vrijednosti osobito u 2008. godini gdje je reakcija tla u odnosu na kontrolu (pH = 5,21) porasla za 0,62 pH jedinice na tretmanu sa 200 kg N/ha (pH = 5,83). Vrijednosti koeficijenta varijacije također otkrivaju da su tretmani sa većim količinama primijenjenog dušika (N200 i N300) utjecali i na varijabilnost reakcije tla i to 25,2 % na N200 tretmanu u 2007. te 30,2 % u 2008.

Tablica 4.1. Deskriptivna statistika za reakciju tla do dva metra dubine prema gnojidbenim tretmanima i godinama istraživanja

Gnojidbeni tretman	pH			
	Srednja vrijednost	Raspon	Standardna devijacija	Koeficijent varijacije, %
	2007.			
N 0 (n = 32)	5,94	4,67-6,99	0,753	12,7
N 100 (n = 32)	5,55	4,94-6,33	0,409	7,4
N 200 (n = 32)	5,57	3,70-7,54	1,404	25,2
N 300 (n = 32)	6,21	3,74-7,77	1,420	22,9
	2008.			
N 0 (n = 32)	5,21	3,95-7,46	0,849	16,3
N 100 (n = 32)	5,32	4,39-7,50	0,918	17,3
N 200 (n = 32)	5,83	3,20-7,56	1,657	28,4
N 300 (n = 32)	5,65	3,34-7,65	1,705	30,2

Kako bi se prikazao i utvrdio stvarni utjecaj rastućih doza dušične gnojidbe, ali i dubine tla na reakciju tla u obje godine istraživanja i 2007. i 2008. godini kako je prikazano na grafikonima 1 i 2, u tablicama 4.2 i 4.3 prikazani su rezultati analize varijance utjecaja gnojidbenih tretmana i dubina na reakciju tla. Uz vrijednosti F testa prikazane su i najmanje značajne razlike (LSD) utvrđene prema Fisherovom LSD testu. Ako se uzme u obzir odabrana razina vjerojatnosti pogreške od 5 % (p=0,05) iz tablice 4.2 vidljivo je da je u 2007. godini reakcija tla značajno varirala prema gnojidbenim tretmanima na sedam od osam istraživanih dubina

tj. da jedino nije utvrđena značajna varijabilnost pH vrijednosti na dubini od 100-125 cm (Pr>F = 0,609). U 2008. na svih osam dubina pH vrijednosti je značajno varirala prema gnojidbenim tretmanima.

Tablica 4.2. Rezultati analize varijance srednjih vrijednosti reakcije tla prema gnojidbenim tretmanima na pojedinim dubinama uzorkovanja i najmanje značajne razlike prema Fisherovom testu

Dubina/ cm	2007.		2008.	
	Pr > F	LSD	Pr > F	LSD
0-25	0,0002	0,55	< 0,0001	0,27
25-50	0,0001	0,34	< 0,0001	0,17
50-75	< 0,0001	0,24	0,0260	0,30
75-100	< 0,0001	0,39	0,0265	0,24
100-125	0,6097	1,55	0,0062	0,72
125-150	< 0,0001	0,88	< 0,0001	0,48
150-175	< 0,0001	0,33	< 0,0001	0,33
175-200	< 0,0001	0,30	0,0083	0,44

Iz tablice 4.3 jednoznačno je razmjeran značajan utjecaj dubine tla na pH vrijednost i u 2007. i 2008. godini (Pr > F = < 0.0001).

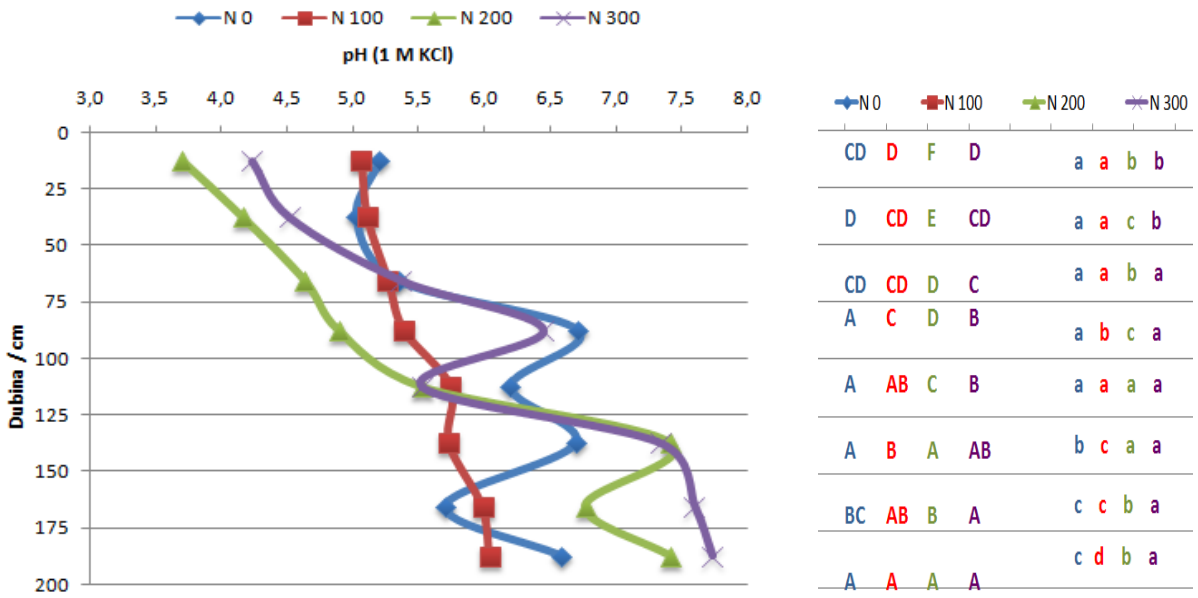
Tablica 4.3. Rezultati analize varijance srednjih vrijednosti reakcije tla prema dubinama uzorkovanja na pojedinim gnojidbenim tretmanima i najmanje značajne razlike prema Fisherovom testu

Tretman	2007.		2008.	
	Pr > F	LSD	Pr > F	LSD
N 0	< 0,0001	0,59	< 0,0001	0,44
N 100	< 0,0001	0,30	< 0,0001	0,40
N200	< 0,0001	0,31	< 0,0001	0,21
N300	< 0,0001	0,97	< 0,0001	0,43

Na grafikonu 1 prikazana je varijabilnost reakcije tla prema gnojidbenim tretmanima i dubinama uzorkovanja u 2007. godini. Radi lakšeg praćenja rezultata, a u skladu sa provedenim Fisherovim LSD testom, s desne strane grafikona prikazani su rezultati međusobne usporedbe grafički prikazanih srednjih vrijednosti prema utvrđenim LSD vrijednostima. Tako velika slova označavaju međusobnu usporedbu srednjih vrijednosti reakcije tla za svaki pojedini tretman na cijeloj dubini profila tla. Plava velika abecedna slova odnose se na vertikalnu varijabilnost pH vrijednosti na N0 tretmanu (0 kg N/ha), crvena na N100, zelena na N200, a ljubičasta na N300 tretmanu. Različita slova na pojedinim dubinama ukazuju na značajnu razliku reakcije tla. S druge strane, mala abecedna slova prikazuju varijabilnost reakcije tla prema gnojidbenim tretmanima na svakoj pojedinoj dubini istraživanja. Ponovno, mala plava abecedna slova odnose se srednju vrijednost utvrđenu na N0 tretmanu, crvena na N100, zelena na N200, a ljubičasta na N300 tretmanu. Promatrajući

varijabilnost reakcije tla uvjetovane gnojidbenim tretmanima uočava se da je na prve četiri dubine tla odnosno do metra dubine profila tla dušična gnojidba imala značajan utjecaj na smanjenje reakcije tla osobito na tretmanu sa 200 kg N/ha (N200). Različita mala abecedna slova na svakoj promatranoj dubini profila ukazuju na značajnu razliku u pH vrijednosti s obzirom na primijenjenu gnojidbu.

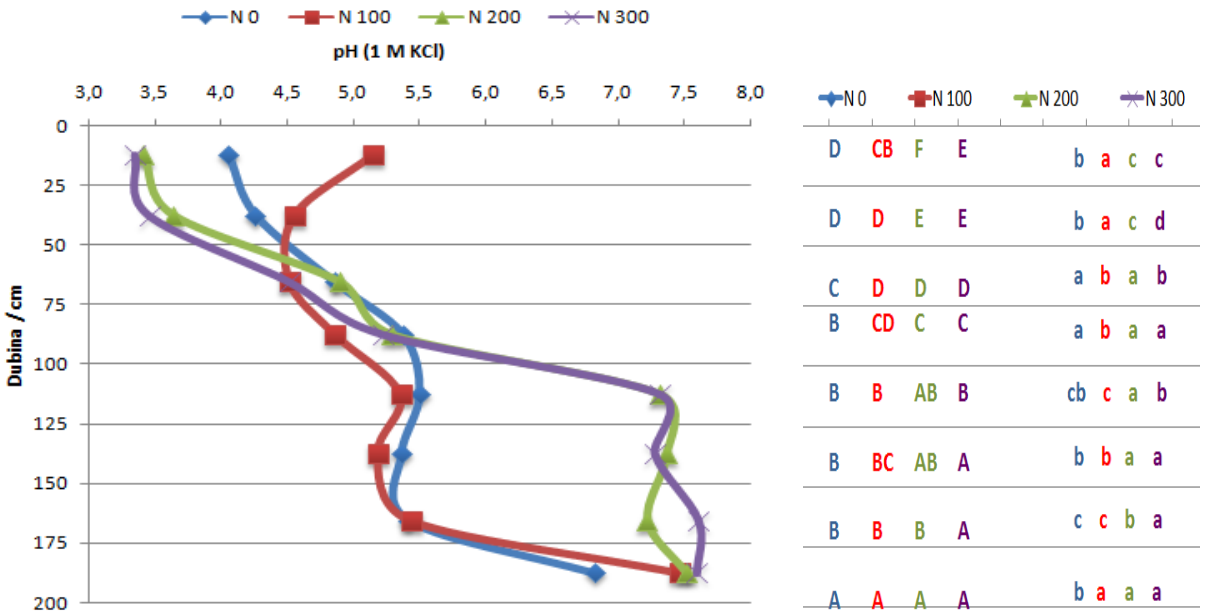
Na prvih 50 cm dubine tla primijenjenih 100 kg N/ha nije značajno utjecalo na reakciju tla te je pH vrijednost varirala od 5,07 na spomenutom tretmanu do 5,21 na kontrolnom tretmanu (N0). U istom sloju tla (0-50 cm) 200 i 300 kg N/ha značajno su smanjili reakciju tla u prosjeku na 3,94 na N 200 tretmanu te 4,38 na N300 tretmanu. Na trećoj dubini profila tla (50-75 cm) pH vrijednost na N0, N100 i N300 tretmanu međusobno se nije značajno razlikovala i u prosjeku je iznosila 5,33 dok je reakcija tla na istoj dubini na N200 tretmanu iznosila 4,64 što razmjerno smanjenju od 0,69 pH jedinica. Na dubini od 100-125 cm kako je već prikazano u tablici 4.2. vrijednosti reakcije tla nisu međusobno varirale s obzirom na gnojidbene tretmane. Nakon te dubine do kraja istraživanog profila tla (125-200 cm) reakcija tla je značajno rasla s porastom dušične gnojidbe. Navedeno je svakako u skladu sa već prikazanim sadržajem slobodnih karbonata (Mesić i sur. 2008.) koji su u većoj mjeri zbog ispiranja prisutni u dubljim slojevima tla (97-116 cm prisutno 2,08 % $CaCO_3$). Također, Van Miegroet i Cole (1984.) objašnjavaju da je ispiranje kationa u dublje slojeve tla uvjetovano povećanim ispiranjem nitrata iz tla. Navedeno je svakako slučaj osobito na tretmanima sa primijenjenih 200 i 300 kg N/ha gdje dolazi do značajnih gubitaka dušika (Jurišić i sur. 2014.). Osman (2018) navodi da se zajedno sa nitratima vrlo često ispiru i kationi osobito kalcij, magnezij i kalij a sve s ciljem održavanja električne ravnoteže tla.



Grafikon 1. Varijabilnost reakcije tla prema gnojidbenim tretmanima i dubinama uzorkovanja u 2007. godini

Promatrajući grafikon 1 s ciljem utvrđivanja doprinosa dubine profila tla na varijabilnost reakcije tla vidljivo je da pH vrijednost značajno raste sa porastom dubine tla. Na tretmanima N0, N100 i N300 prve tri dubine (0-75 cm) nisu značajno utjecale na varijabilnost reakcije tla dok je na N200 tretmanu u ovom dijelu profila reakcija značajno varirala i to od 3,71 u površinskom sloju tla (0-25 cm) do 4,64 na dubini od 50-75 cm. Na drugom metru profila tla (100-200 cm) ponovno je prisutan neznačajan utjecaj dubine na varijabilnost pH vrijednosti na N0, N100 i N300 tretmanima dok je na N200 tretmanu reakcija tla od 5,33 na dubini od 100-125 cm i 6,77 na dubini od 150-175 značajno niža od one utvrđene na dubinama 125-150 cm i 175-200 cm gdje je jednako iznosila 7,42.

Kao i u 2007. godini, u 2008. godini u površinskom i podpovršinskom sloju tla utvrđen je značajan doprinos dušične gnojidbe osobito 200 i 300 kg N/ha na zakiseljavanje tla. Tako se u odnosu na kontrolu (4,06) na dubini od 0-25 cm reakcija tla smanjila za 0,46 pH jedinica na N200 tretmanu te 0,70 pH jedinica na N300 tretmanu. Vrlo sličan trend zabilježen je i na sljedećoj dubini gdje se u odnosu na kontrolu (4,26) reakcija tla na tretmanima sa prekomjernom gnojidbom (N200 i N300) značajno snizila u prosjeku za 0,71 pH jedinicu. Za razliku od 2007. kada je na dubini od 100-125 cm zabilježeno neznačajno variranje reakcije tla s obzirom na tretmane u 2008. na toj dubini (100-125 cm) pa sve do predzadnje dubine (150-175 cm) utvrđeno je značajno povećanje reakcije tla na N200 i N300 tretmanima što je ponovno uvjetovano ispiranjem kationa u dublje slojeve tla zbog povećanog ispiranja nitrata iz tla na tim tretmanima. Do sličnih zaključaka došli su mnogi autori diljem svijeta. Tako Huang i sur. (2015.) navode da je u dvadesetogodišnjem razdoblju aplikacija 300 kg N/ha snizila reakciju tla u rasponu od 0,35 do 0,52 pH jedinice. Meng i sur. (2013.) nadodaju da je i petnaestogodišnja gnojidba mineralnim dušikom značajno snizila reakciju tla i to u rasponu od 0,29 do 0,89 ΔpH.



Grafikon 2. Varijabilnost reakcije tla prema gnojidbenim tretmanima i dubinama uzorkovanja u 2008. godini

Analizirajući utjecaj dubine profila tla na pH vrijednost ponovno je utvrđeno njezino značajno povećanje. Tako je na kontrolnom tretmanu u površinskom sloju tla reakcija iznosila 4,06 a na zadnjoj istraživanoj dubini profila 6,82, na N100 tretmanu u površinskom sloju 5,15, a u najdubljem sloju profila tla 7,47, na N200 tretmanu pozitivna razlika između površinske i dubinske reakcije tla iznosila je 4,1 pH jedinicu, a na N300 tretmanu 4,24 pH jedinice.

4.2. Ovisnost reakcije tla o sadržaju kationa i mehaničkom sastavu tla

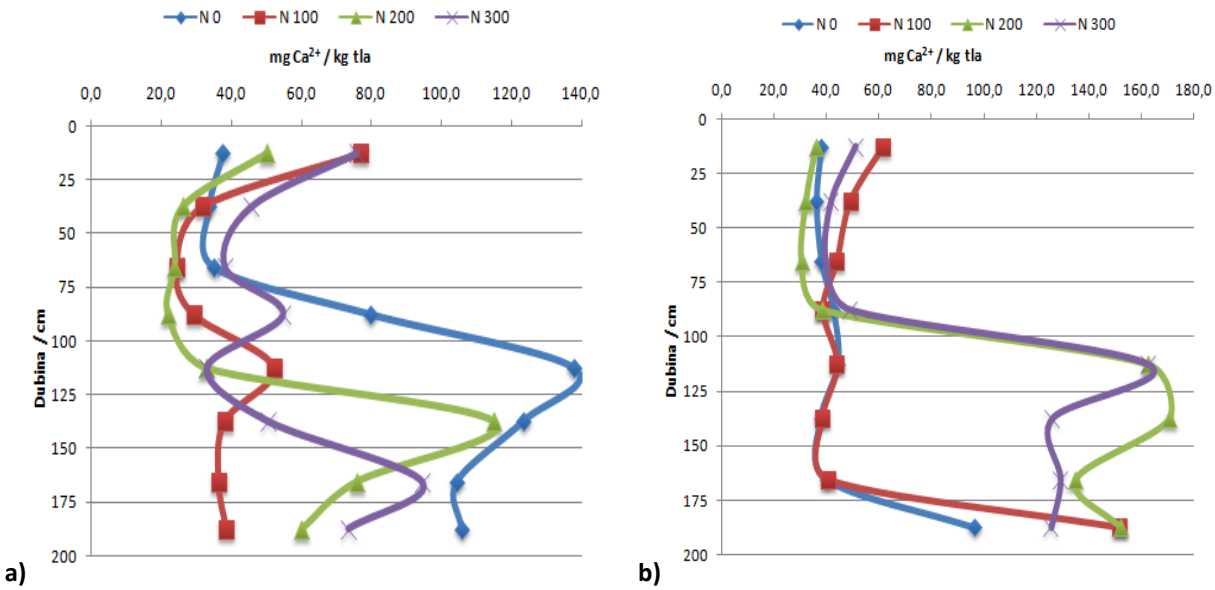
S ciljem utvrđivanja ovisnosti reakcije tla o sadržaju pojedinih kationa (Ca^{2+} i Mg^{2+}) kao i mehaničkog sastava u tablici 4.4. su prikazani Pearsonovi faktori korelacije. Vidljivo je da su svih dvanaest utvrđenih korelacija statistički značajne. Prije svega utvrđene su pozitivne korelacije između pH vrijednost i sadržaja Ca^{2+} i Mg^{2+} iona kao i pH vrijednosti i sitnog pijeska. Sadržaj krupnog pijeska, praha i gline u negativnom je odnosu sa reakcijom tla, odnosno sa smanjenjem sadržaja gline, praha i krupnog pijeska reakcija tla raste.

Tablica 4.4. Vrijednosti korelacijskih koeficijenata između reakcije tla, sadržaja iona kalcija i magnezija i mehaničkih elementa tla

Parametar tla	**2007.**	**2008.**
	pH	**pH**
Ca^{2+}, mg/kg	0,474***	0,848***
Mg^{2+}, mg/kg	0,606***	0,777***
Krupni pijesak, %	- 0,523***	- 0,547***
Sitni pijesak, %	0,689***	0,766***
Prah, %	- 0,675***	- 0,752***
Glina, %	- 0,686***	- 0,759***

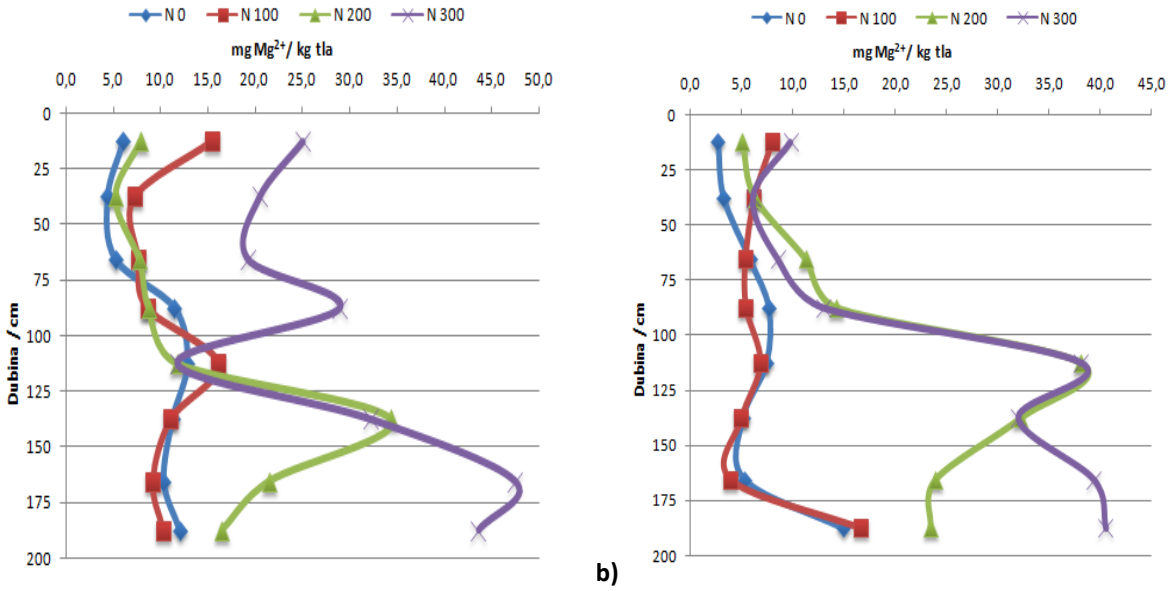
Razina statističke značajnosti: *** p<0,001

Srednja (r = 0,474) do vrlo jaka (r = 0,848) korelacija utvrđena je između reakcije tla i sadržaja kalcija u tlu. Za detaljniji uvid u njegovu raspodjelu s obzirom na gnojidbene tretmane i dubinu tla u nastavku je prikazan grafikon 3. Usporedbom grafikona 2 i 3b može se uočiti vrlo slična raspodjela reakcije tla i sadržaja Ca^{2+} iona osobito na tretmanima N200 i N300 u drugom metru istraživanog profila tla (100-200 cm) ali i kontrolnom i N100 tretmanu što je doprinijelo vrlo jakoj ovisnosti ova dva parametra tla u 2008 godini. U prosjeku gledano sadržaj kalcija u 2007. godini uzevši u obzir svih osam dubina i četiri tretmana odnosno 128 analiziranih uzoraka iznosio je 58,0 mg/kg, a u 2008. 67,5 mg/kg. Sam raspon prikazanih vrijednosti na grafikonu 2a kretao se od 21,9 mg/kg na N200 tretmanu na dubini od 75-100 cm do 138,0 mg/kg na kontrolnom tretmanu (N0) na dubini 100-125 cm. U 2008. godini minimalni sadržaj kalcija utvrđen je N200 tretmanu i iznosio je 30,4 mg/kg dok je relativno najviši sadržaj od 170,7 mg/kg utvrđen također na N200 tretmanu na dubini od 125-150 cm (grafikon 3b).



Grafikon 3. Varijabilnost sadržaja kalcija prema gnojidbenim tretmanima i dubinama uzorkovanja u (a) 2007. i (b) 2008. godini

Također između sadržaja magnezija i reakcije tla utvrđena je jaka i vrlo jaka povezanost (r=0,606 i r=0,777). Kao i u slučaju raspodjele sadržaja kalcija i varijabilnost sadržaja magnezija vrlo je slična osobito varijabilnosti reakcije tla u dubljim slojevima tla (100-200 cm). U prosjeku gledano u dvije godine istraživanja sadržaj kalcija (65,2 mg/kg) je bio četverostruko veći od prosječnog sadržaja magnezija utvrđenog od 2007. do 2008. godine. U prosjeku je tlo u 2007. godini sadržavalo 15,7 mg/kg, a u 2008. 14,1 mg/kg. Promatrajući grafikon 4a vidljivo je da je varirao od 4,43 mg/kg na kontrolnom tretmanu na dubini od 25-50 cm do 47,4 mg/kg na N300 tretmanu na dubini od 150-175 cm sa koeficijentom varijacije 70,0 %. U 2008. godini (grafikon 4b) sadržaj magnezija varirao je 86,9 % i to od 2,68 mg/kg ponovno na kontrolnom tretmanu ali u površinskom sloju tla do 40,5 mg/ha na N300 tretmanu na zadnjoj dubini profila (175-200 cm).



Grafikon 4. Varijabilnost sadržaja magnezija prema gnojidbenim tretmanima i dubinama uzorkovanja u (a) 2007. i (b) 2008. godini

5. Zaključci

Na osnovu rezultata ovog diplomskog rada, a s obzirom na postavljeni cilj mogu se donijeti sljedeći zaključci:

- Rastuće doze mineralne dušične gnojidbe utjecale su na značajno zakiseljavanje tla i u 2007. i 2008. godini koje je osobito bilo izraženo u profilu tla do 50 cm dubine. Tako je u površinskom sloju tla u 2007. godini primjena 200 kg N/ha doprinijela smanjenju reakcije tla sa 5,21 na kontrolnom tretmanu do 3,71, a primjena 300 kg N/ha u 2008. godini sa 4,06 na 3,36.

- Utvrđen je i značajan utjecaj dubine profila tla na povećanje reakcije tla koje je bilo uvjetovano ispiranjem slobodnih karbonata u dublje slojeve tla. Tako je primjera radi na tretmanu sa 300 kg N/ha u 2007. godini utvrđeno povećanje reakcije tla u najdubljem sloju profila tla (175-200 cm) u odnosu na površinski sloj tla (0-25 cm) za 3,50 pH jedinica te za 4,38 pH jedinica u 2008. godini.

- Smanjenjem sadržaja gline, praha i krupnog pijeska reakcija tla je rasla te je utvrđena u prosjeku za obje godine istraživanja jaka povezanost između pH vrijednosti i krupnog pijeska (r = -0,535), vrlo jaka između reakcije tla i praha (r = -0,714) i između reakcije tla i gline (r = - 0,723). Sitni pijesak bio je u pozitivnoj i vrlo jakoj korelaciji sa reakcijom tla (r = 0,728).

- U prosjeku gledano u dvije godine istraživanja sadržaj kalcija (65,2 mg/kg) je bio četverostruko veći od prosječnog sadržaja magnezija (14,9 mg/kg) utvrđenog od 2007. do 2008. godine. Oba iona bila su jakoj i pozitivnoj korelaciji sa reakcijom tla (pH vs Ca^{2+}, r = 0,661; pH vs Mg^{2+}, r = 0,691).

6. Literatura

1. Aguilera J., Guerrero-Villegas J., García-Sánchez J. (2013). Reputation of multinational companies: Corporate social responsibility and internationalization, European Journal of Management and Business Economics, 84 – 94.
2. Bašić F., Kisić I., Nestroy O., Mesić M., Butorac A. (2002). Particle size distribution (texture) of eroded soil material. Journal of Agronomy and Crop Science. 188(5), 311-322.
3. Brady N.C. i Wail R.R. (2010). Elements of the nature and properties of the soil. Pearson Education, Prentice Hall, 3rd edition, pp. 614.
4. Bilandžija D., Zgorelec Ž., Kisić I. (2016). Influence of tillage practices and crop type on soil CO<inf>2</inf> emissions, Sustainability (Switzerland), 8(1), 1-10.
5. Birkás M., Jolánkai M., Kisić I., Stipešević B. (2008). Soil tillage needs a radical change for sustainability, Agriculturae Conspectus Scientificus, 73(3), 131-136.
6. Bogunović I., Mesić M., Birkás M., (2015). Spatial variability of penetration resistance on pseudogley, Agriculturae Conspectus Scientificus, 80(1), 9-16.
7. Bogunović I., Đekmeti I., Magdić I., Vrbanić M., Matošić S., Mesić M. (2016). Spatial modelling for describing spatial variability of soil physical properties in eastern Croatia, Poljoprivreda, 22(1), 46-52
8. Bogunović I., Kisić, I., Jurišić A. (2014). Soil compaction under different tillage system on Stagnic Luvisols. Agriculturae Conspectus Scientificus. 79(1), 57-63.
9. Bogunović M., Vidaček, Ž., Husnjak S., Sraka M. (1998). Inventory of Soils in Croatia. Agriculturae Conspectus Scientificus. 63(3), 105-112.
10. Cecchini G., Andreetta A., Marchetto A., Carnicelli S. (2019). Atmospheric deposition control of soil acidification in central Italy,Catena, 182, 104102.
11. Cox G.W., Atkins M.D., Freeman W.H. (1979). Agricultural ecology. Agricultural Systems, 7(4), 320-322.
12. Huang P., Zhang J., Xin X., Zhu A., Zhang C., Ma D., Zhu Q., Yang S., Wu S. (2015). Proton accumulation accelerated by heavy chemical nitrogen fertilization and its long-term impact on acidifyng rate in a typical arable soil in the Huang-Huai-Hai Plain u Journal of Integrative Agriculture 14(1), 148-157.
13. Husnjak S. (2014). Sistematika tala Hrvatske. Hrvatska Sveučilišna naklada, Zagreb.
14. Howarth R., Farber S. (2002). Accounting for the value of ecosystem services, Ecological Economics, 41(3) 421-429, DOI: 10.1016/S0921-8009(02)00091-5.
15. HRN ISO 10390, (2004). Kakvoća tla – Određivanje pH vrijednosti.
16. ISO 11277 (2004). Soil quality – Determination of particle size distribution in mineral soil material - Method by sieving and sedimentation.
17. Jurišić A., Zgorelec Ž., Šestak I., Mesić M., Mikoč V. (2014). Nitrate-Nitrogen Content in Soil and Lysimeter Water under Different Nitrogen Fertilization Levels in Crop Production. Agriculturae Conspectus Scientificus. 79(1), 45-50.

18. Kisić I., Basić F., Nestroy O., Mesić M., Butorać A. (2002). Soil erosion under different tillage methods in central Croatia, Bodenkultur, 53(4), 199-206.
19. Li Q., Li A., Yu X., Dai T., Peng Y., Yuan D., Zhao B., Tao Q., Wang C., Li B., Gao X., Li Y., Wu D., Xu Q. (2020). Soil acidification of the soil profile across Chengdu Plain of China from the 1980s to 2010s, Science of The Total Environment, Volume 698, 134320.
20. Li Y., Sun J., Tian D., Wang J., Ha D., Qu Y., Jing G., Niu S., (2017). Soil acid cations induced reduction in soil respiration under nitrogen enrichment and soil acidification, Science of The Total Environment, 615, 1535-1546.
21. Meng H., Xu M., Lü J., He X., Li J., Shi X., Peng C., Wang B., Zhang H. (2013). Soil pH dynamics and nitrogen transformations under long-term chemical fertilization in four typical chinese croplands, Journal of Integrative Agriculture 12(11): 2092-2102.
22. Mesić M., Bašić F., Kisić I., Zgorelec Ž., Vuković I., Sajko K. Jurišić A. (2008). Gnojidba dušikom prihvatljiva za okoliš. Izvješće o radu u 2007. godini.
23. Osman K.T. (2018). Acid soils and acid sulfate soils. U: Osman, K.T. (Ur.), Management of Soil Problems. Springer International Publishing. pp 474. DOI: 10.1007/978-3-319-75527-4.
24. Rubinić, V., Durn, G., Husnjak, S., Tadej, N. (2014). Composition, properties and formation of Pseudogley on loess along a precipitation gradient in the Pannonian region of Croatia. Catena 113, 138-149.
25. Seatz L.F. i Peterson, H.B. (1965). Acid, alkaline, saline, and sodic soils. U: Bear, F. E. (Ur.), Chemistry of the soil (pp 292–319). New York: Reinhold Pub.
26. Shi R., Liu Z., Li Y., Jiang T., Xu M., Li J., Xu R. (2019). Mechanisms for increasing soil resistance to acidification by long-term manure application, Soil and Tillage Research, 185,77-84.
27. Sparks D.L. (2003). Environmental Soil Chemistry. Academic Press. 2nd edition, pp. 352
28. Škorić (1982). Priručnik za pedološka istraživanja, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb, Birotehnika, Zagreb.
29. Tao L., Li F., Liu C., Feng X., Gu L., Wang B., Wen S., Xu M. (2019). Mitigation of soil acidification through changes in soil mineralogy due to long-term fertilization in southern China. Agriculture, Ecosystems i Environment, 174, 227-234.
30. Tian D. i Niu S. (2015). A global analysis of soil acidification caused by nitrogen addition, Environmental Research Letters, 10(2), 1-10
31. Tibbett M., Gil-Martínez M., Fraser T., Green I., Duddigan S., De Oliveira V.H., Raulund-Rasmussene K., Sizmur T., Diaz A. (2019). Long-term acidification of pH neutral grasslands affects soil biodiversity, fertility and function in a heathland restoration. Agriculture, Ecosystems i Environment. 180, 401-415.
32. Tilman D, Casssman K.G., Matson P.A., Naylor R., Polasky S. (2002). Agricultural sustaibability and intensive practices, Nature. 418: 67 1-7.
33. US EPA (1990). Pollution Prevention Act of 1990, The public health and welfare, chapter 133. US.

34. Van Miegroet H. i Cole D.W (1984). The Impact of Nitrification on Soil Acidification and Cation Leaching in a Red Alder Ecosystem. Journal of Environmental Quality. 13(4). DOI: 10.2134/jeq1984.00472425001300040015x
35. Wang J., Zhang B., Ye Tian Y., Zhang H., Yi Cheng Y., Zhang J. (2018). A soil management strategy for ameliorating soil acidification and reducing nitrification in tea plantations. European Journal of Soil Biology. 88, 36-40.
36. Yan P., Shen C., Fan L., Li X., Zhang L., Zhang L. i Han W. (2018). Tea planting affects soil acidification and nitrogen and phosphorus distribution in soil, Agriculture, Ecosystems i Environment. 254, 20-25.
37. Yang X., Nia K., Shia Y., Yia X., Zhanga Q., Fang L., Maa L. i Ruana Y. (2018). Effects of long-term nitrogen application on soil acidification and solution chemistry of a tea plantation in China. Agriculture, Ecosystems i Environment. 252, 74-82.
38. ÖNORM L 1092 (1993). Bestimmung wasserlöslicher Stoffe, Wien.

Životopis

Luka Crkvenac rođen je 13. lipnja 1995. godine u Zagrebu. Pohađao je srednju Prehrambeno-tehnološku školu u Zagrebu, smjer prehrambeni tehničar - nutricionist u razdoblju od 2010. do 2014. godine. U razdoblju od 2014. do 2017. godine pohađao je preddiplomski studij agroekologija na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Godine 2017. obranom završnog rada pod nazivom „Biljno ulje kao gorivo“ stječe akademski naziv Sveučilišni prvostupnik (Baccalaureus) - Agroekologije. Od 2017. godine je student na diplomskom studiju Agroekologija - mikrobna biotehnologija u poljoprivredi na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Poznaje engleski jezik, razine B1 te francuski jezik, razine A1. Posjeduje znanja i vještine rada na računalu osobito Microsoft Office paketa (Word, Excel, PowerPoint) te Internet. Posjeduje vozačku dozvolu B kategorije. Posjeduje trenersku C licencu.