

Uloga izmjenjivih kationa u očuvanju plodnosti tla

Kuveždić, Marija

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:151:728705>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-08**



Sveučilište Josipa Jurja
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet
agrobiotehničkih
znanosti Osijek**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Marija Kuveždić, apsolvant
Diplomski studij Bilinogojstvo
Smjer Biljna proizvodnja

ULOGA IZMJENJIVIH KATIONA U OČUVANJU PLODNOSTI TLA
Diplomski rad

Osijek, 2019.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Marija Kuveždić, apsolvant
Diplomski studij Bilinogojstvo
Smjer Biljna proizvodnja

ULOGA IZMJENJIVIH KATIONA U OČUVANJU PLODNOSTI TLA
Diplomski rad

Osijek, 2019.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Marija Kuveždić, apsolvant
Diplomski studij Bilinogojstvo
Smjer Biljna proizvodnja

ULOGA IZMJENJIVIH KATIONA U OČUVANJU PLODNOSTI TLA
Diplomski rad

Povjerenstvo za obranu i ocjenu diplomskog rada:

1. prof. dr. sc. Irena Jug, predsjednik
2. prof. dr. sc. Vesna Vukadinović, mentor
3. prof. dr. sc. Danijel Jug, član

Osijek, 2019.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. PREGLED LITERATURE	3
3. MATERIJAL I METODE.....	7
3.1. Određivanje fizikalnih svojstava tla.....	7
3.2. Određivanje kemijskih svojstava tla	10
4. REZULTATI.....	13
4.1. Klasifikacija tala	13
4.2. Kemijska svojstva tla	14
4.2.1. <i>Kemijska svojstva pseudogleja i luvisola</i>	14
4.2.2. <i>Sastav adsorpcijskog kompleksa pseudogleja i luvisola</i>	16
4.2.3. <i>Kemijska svojstva černoze i soloneca</i>	18
4.2.4. <i>Sastav adsorpcijskog kompleksa černoze i soloneca</i>	20
4.3. Fizikalna svojstva tla	22
4.3.1. <i>Fizikalna svojstva pseudogleja i luvisola</i>	22
4.3.2. <i>Fizikalna svojstva černoze i soloneca</i>	23
5. RASPRAVA.....	25
6. ZAKLJUČAK.....	29
7. POPIS LITERATURE.....	30
8. SAŽETAK.....	34
9. SUMMARY	35
10. PRILOZI.....	36
11. POPIS TABLICA.....	38
12. POPIS SLIKA	39
13. POPIS GRAFIKONA.....	40

1. UVOD

Tlo je biološki aktivan, rastresiti sloj površinskog dijela Zemljine kore sastavljen od krute, tekuće i plinovite faze. Ono je rezultat djelovanja pedogenetskih čimbenika (klima, reljef, vrijeme, organizmi, matični supstrat, čovjek) tijekom pedogenetskih procesa (Škorić, 1991.). Složena je dinamička cjelina u kojoj se neprekidno odvijaju različiti procesi i promjene (Resulović i Čustović 2002.). Tlo je uvjetno obnovljivo do neobnovljivo dobro koje prema Vidačeku i sur. (2004.) ima „...ekološku, proizvodnu, tehničku/industrijsku, društveno-ekonomsku i kulturno-povijesnu funkciju“. Sve funkcije tla odnose se na nezamjenjivost u proizvodnji hrane, njegovu sposobnost kao filtera, pufera, ali i biološkog staništa. Najčešće se definiraju kao tehničke, industrijske i društveno-ekonomske funkcije tla. Ako se tlo ne koristi na odgovarajući način može doći do njegove degradacije. Degradacija tla se definira kao smanjenje kvalitete tla zbog ljudskih aktivnosti (Cassman, 1999.), ali i kao promjena svojstava tla koja dovode do smanjenja funkcija ekosustava (Palm i sur., 2007.). Može se manifestirati kao onečišćenje tla štetnim tvarima, kao erozija, dehumizacija, zbijanje tla, smanjivanje biološke raznolikosti i plodnosti, salinizacija i/ili alkalizacija. Osman (2014.) citirajući Oldemana i suradnike upozorava kako je 17 % svjetskih poljoprivrednih površina degradirano, a sve zahvaljujući intenzivnoj antropogenizaciji, što potvrđuje i Blum (2002.) iznoseći kako se ljudske aktivnosti mogu smatrati glavnim uzrokom degradacije tla. Kada se tlo dovede u takvo stanje, prema Vukadinović i Vukadinović (2011.), mjere popravke su teške i skupe, no ipak je moguće određena svojstva tla (organska tvar, struktura, pH, sadržaj N, P, K) postepeno obnoviti. Prilikom popravke tla utječe se na povećanje produktivnosti. Plodnost (produktivnost) najjednostavnije rečeno označava sposobnost tla da biljkama osigurava hranjiva i vodu. Svojstva plodnih tala su neutralne (ili blizu neutralne) reakcije, pristupačnost hraniva biljkama, povoljna fizikalno-kemijska svojstava te izostanak prisutnosti štetnih tvari. Nadalje, plodnost tla ovisi o tipu tla, teksturi, vodnom i toplinskom režimu, sadržaju humusa, biogenosti i primjeni agrotehnike (obrađa, gnojidba, mogućnost odvodnje viška vode i/ili navodnjavanja i dr.). Sadašnja plodnost većine poljoprivrednih tala najvećim dijelom je rezultat jačeg ili slabijeg djelovanja čovjeka. Svojim utjecajem djeluje u pozitivnom, ali i negativnom smjeru i upravo je antropogeni utjecaj ključan u poljoprivredi. Može djelovati razarajuće na tlo pogoršavajući njegova svojstva i dovodeći do degradacije, ali jednako tako bez antropogenog utjecaja ne mogu se u većoj mjeri obavljati popravke tla koje su potrebne kako bi dobili supstrat za proizvodnju hrane.

Cilj istraživanja u ovom radu je objasniti utjecaj kationa adsorpcijskog kompleksa na fizikalno-kemijska svojstva koja određuju plodnost tla.

2. PREGLED LITERATURE

Potreba proizvodnje hrane u količinama koje će zadovoljiti konstantni rast potražnje posljednjih nekoliko desetljeća sve više se prepoznaje kao primarni zadatak poljoprivrede. Njegova realizacija u velikoj mjeri ovisi o svojstvima tala i/ili poljoprivrednih zemljišta koja bi trebala osigurati dovoljne količine kvalitetne hrane. Prema Soil Science Society of America (SSSA) plodnost tla je definirana kao: "... kapacitet specifičnih funkcija tla unutar prirodnog ili ograničeno uređenog ekosustava koji podržava biljnu i animalnu produkciju, održava ili povećava kvalitetu vode i zraka i potpomaže zdravlje i stanovanje ljudi". Plodnost tla može se procijeniti izravnim mjerenjima pojedinih svojstava, odnosno indikatora tijekom dužeg vremenskog perioda. S obzirom da su biološka, kemijska i fizikalna svojstva tala rezultat djelovanja niza činitelja (matični supstrat, klima, čovjek) potrebno je za svako agroekološko područje zasebno utvrditi plodnost (Vukadinović i Vukadinović, 2011.). Poljoprivredna tla optimalne plodnosti trebala bi imati fizikalna, kemijska i biološka svojstva koja uz minimalnu agrotehniku osiguravaju optimalnu dinamiku raspoloživosti hraniva i vode. Međutim, upravo zbog različitih činitelja mnoga tla imaju ograničenja koja im smanjuju plodnost i zahtijevaju primjenu specifičnih mjera popravke. Vukadinović (2012.) ističe kako je plodnost tla određena tipom tla, teksturom, vodnim i toplinskim režimom, sadržajem humusa te koncentracijom elemenata koji su pristupačni biljkama.

Adsorpcijski kompleks tla (Škorić, 1991.) predstavlja skup organskih i mineralnih koloida koji imaju sposobnost na svoju površinu vezivati ione iz otopine tla, a istovremeno s koloidne micelle otpuštati u otopinu tla ranije vezane ione. Ova sposobnost adsorpcije i desorpcije iona svrstava AK u značajne indikatore plodnosti tla. Koncentracija iona vezanih na koloidnoj miceli određuje sastav AK. Hazelton i Murphy (2007.) navode kako upravo sastav AK utječe na niz fizikalno-kemijskih svojstava: stabilnost strukture, reakciju tla, raspoloživost hraniva, zbijenost tla i sl. Ujedno ističu da je za biljke optimalan slijedeći sastav adsorpcijskog kompleksa: kalcija 65 – 80%, magnezija 10 – 15 %, kalija 1 – 5 %, natrija < 1 % i aluminija < 5 %.

Prema Hardy i sur. (2012.) kationski izmjenjivački kapacitet (KIK ili CEC) pokazuje u kojoj mjeri može tlo usvajati i razmjenjivati katione kao što su kalcij, magnezij i kalij te vodik, aluminij, željezo i sl.

Tipovi tala imaju karakteristična fizikalno-kemijska svojstva cijelom dubinom profila. Stoga su sastav AK te veličina KIK-a specifični za svaki tip. U tlima kisele reakcije u AK dominira H^+ ion, koji je često praćen povišenim koncentracijama Al^{3+} , Fe^{3+} i Mn^{2+} . Rayment i Higginson (1992.) napominju da se adsorbirani kationi Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ i Na^+ najčešće nazivaju izmjenjivim bazama, a njihove koncentracije u tlima obično su prema navedenom redoslijedu. KIK predstavlja sumu kationa vezanih na koloidnu micelu tla, odnosno adsorpcijski kompleks. Resulović i Čustović (2002.) dodaju kako se na površini gline, osim adsorpcije, odvija i supstitucija iona.

Na veličinu KIK-a utječu sadržaj gline i organske tvari u tlu. Osim sadržaja glinaste frakcije važnu ulogu ima i tip minerala gline. Najniži KIK (3 - 15 $cmol(+) kg^{-1}$) imaju dvoslojni minerali iz grupe kaolinita.. Troslojni minerali s većim međulamelnim razmakom mogu imati KIK u granicama 80 – 120 $cmol(+) kg^{-1}$ (smektitna grupa), odnosno 120 – 150 $cmol(+) kg^{-1}$ (vermikuliti). Kapacitet adsorpcije kationa humusa iznosi 100 – 300 $cmol(+) kg^{-1}$. Vrijednosti KIK-a $< 10 cmol(+) kg^{-1}$ ukazuju na nizak sadržaj gline i organske tvari, a povećan udio pijeska i praha (Manrique i sur., 1991.; Đurđević i sur., 2011.). Tla s više humusa i gline, prema Vukadinović i Vukadinović (2011.), imaju više vrijednosti KIK-a u odnosu na lakša i slabo humozna tla. Autori daju primjer ruskih černozema u kojima je prosječan KIK 56 $cmol(+) kg^{-1}$, dok je u lakim pjeskovitim tlima Dravskog rita u Baranji KIK oko 10 $cmol(+) kg^{-1}$.

U sastavu AK dominira kalcij (Ca^{2+}). Pripada skupini zemnoalkalijskih metala, koncentracija u AK je u rasponu 400 – 4000 $mg kg^{-1}$. Glavni izvori kalcija u tlu su primarni minerali silicija i sekundarni minerali kalcija, kao što su dolomit ($CaCO_3 \times MgCO_3$), kalcit ($CaCO_3$), gips ($CaSO_4 \times H_2O$) te različiti kalcijevi fosfati. Razgradnjom minerala oslobađa se kalcij koji gradi nove sekundarne minerale ili je adsorbiran na čvrstu fazu tla (Vukadinović i Vukadinović, 2011.). Zajedno s humusnim tvarima kalcij povoljno utječe na održavanje strukture, jer kao koagulator omogućava sljepljivanje čestica u strukturne agregate te se može nazvati i „strukuroformatorom“. Osim toga, nastala mrvičasta struktura osigurava povoljne vodno zračne odnose. Nedostatak kalcija, ali i baza općenito, javlja se u kiselim tlima pa se preporuča kalcizacija, odnosno unošenje kalcija u vidu različitih kondicionera. Jedan od niza pozitivnih primjera primjene kalcizacije naveli su Lončarić i sur. (2007.). Autori su utvrdili porast pH tla nakon 7 mjeseci od inkorporacije Karbokalka u lesivirano tlo. Ispiranje kalcija iz tla se ubrzava kada je količina oborina iznad 600 – 700 $mm god^{-1}$. U takvim uvjetima ispire se u prosjeku 80 – 100 $kg Ca ha^{-1}god^{-1}$.

Optimalni udio magnezijevih iona na AK je 10 – 15 %. Pripada skupini zemnoalkalijskih karbonata. Porijeklo magnezija u tlu je iz primarnih minerala (silikati), te iz sekundarnih minerala (dolomit i magnezit). U kiselim i pjeskovitim tlima sadržaj Mg^{2+} je nizak zbog procesa ispiranja (eluvijacije). Antagonist je s Ca^{2+} i K^+ , s NH_4^+ u alkalnim i H^+ ionima u kiselim tlima. Za razliku od Ca^{2+} , Mg^{2+} je znatno pokretljiviji. Suvišak magnezija je rijetka pojava, ali se može dogoditi. Primjer suviška magnezija je u istočnoj Hrvatskoj kada se pojavljuje na solonecima (Galović, 2003.), a KIK tada može sadržavati više od 60 % Mg, što je dvostruko više nego Ca. U takvom tlu se uočavaju antagonistički odnosi kationa, naglašen je odnos Ca / Mg (Loewov zakon), odnosno omjer K / (Ca : Mg).

Sadržaj kalija u tlima je promjenjiv i kreće se u intervalu od 0,5-2,5 %. Mobilnost kalija uvelike je povezana sa sadržajem i sastavom gline koja se nalazi u tlu. Kalijevi ioni, koji se nalaze na rubovima minerala gline i na vanjskom rubu međuslojeva, mogu biti zamijenjeni relativno lako s drugim kationima (ekvivalentnom supstitucijom). Na taj način kalij prelazi u otopinu tla i postaje pristupačan za biljku (Johnston, 2003.). Kalij se najčešće izmjenjuje s viševalentnim kationima, što znači da njegova sorpcija dovodi do istiskivanja drugih kationa, od kojih su najznačajniji kalcij (Ca^{2+}) i magneziji (Mg^{2+}). Nedostatak kalija najčešće se javlja na lakim, pjeskovitim tlima, teškim tlima s visokim udjelom gline koja imaju izraženu fiksacijsku moć kalija ili na tlima koja imaju suvišak kalcija ili magnezija. Suvišak kalija rijetka je pojava na oranicama. Moguć suvišak je na zaslanjenim tlima ili kod višekratne obilne gnojidbe. Ako dođe do takve situacije tada se pojavljuje problem s usvajanjem kalcija i magnezija, ali i nekih mikroelemenata kao što su bor (B), cink (Zn) i mangan (Mn).

Natrij se nalazi u svim tipovima tala, u litosferi je zastupljen s oko 2,8 %, a biljke ga usvajaju kao Na^+ (Vukadinović i Vukadinović, 2011.). U alkaliziranim tlima koncentracija natrija vrlo lako može doseći vrijednosti koje su toksične. Za razliku od kalcija koji je strukturoformator, natrij je element koji je peptizator. Ako ga u tlu ima u većim količinama tada na strukturu djeluje tako što ju pogoršava jer utječe na raspršivanje mikroagregata. Posljedice disperzije su stvaranje pokorice, ljepljivost, ali i čitav niz problema koji onemogućavaju pravilnu i pravovremenu obradu tla. Tla koja obiluju ionima natrija vrlo su loših fizikalnih značajki. U suhom su stanju zbijena i kompaktna, a u vlažnom prelaze u bestrukturinu masu. Ako u adsorpcijskom kompleksu ima više od 15% iona Na tada se radi o alkalnim tlima (solonec). Optimalni omjer K : Na je od vitalnog značaja za aktivaciju enzimskih reakcija u citoplazmi potrebnoj za održavanje rasta biljaka i razvoja prinosa. Iako

većina tala ima adekvatne količine K^+ , na mnogima je dostupnost kalija nedovoljna zbog velikih količina koje se iznose visokim prinosima usjeva. Taj se problem pogoršava pod uvjetima u kojima se javlja antagonizam kalija i natrija. Zbog svojih sličnih fizikalno-kemijskih svojstava, Na^+ se natječe s K^+ kod usvajanja od strane biljaka. Smanjivanje unosa Na^+ i sprečavanje gubitaka K^+ može pomoći u održavanju optimalnog omjera $K : Na$. Postoji prirodna akumulacija natrija u tlu nastala primjenom gnojiva i pesticida, prirodnim stanjem plitkih slanah voda i minerala koji oslobađaju sol. Kao element, natrij se nalazi u mnogim mineralima i oslobađa se tijekom vremena. Natrij u tlu koji nije na toksičnoj razini može se jednostavno sanirati ispiranjem tla slatkim vodom. Visoke razine natrija mogu se popraviti i primjenom gipsa, a bitno je ispitati izvor natrija u tlu.

3. MATERIJAL I METODE

Za analizu utjecaja kationa adsorpcijskog kompleksa na plodnost tla odabrani su uzorci s područja Slavonije i Baranje, prikupljeni tijekom realizacije nekoliko znanstvenih i stručnih projekata Zavoda za kemiju, biologiju i fiziku tla. Izabrano je ukupno 20 lokacija s četiri tipa tla. Determinacija tipova tala izvršena je prema hrvatskoj klasifikaciji (Bašić, 2013.; Husnjak, 2014.) te dodatno, na razini referentne grupe tala, prema WRB (IUSS Working Group WRB, 2006., 2015.).

U skladu s postavljenim ciljevima istraživanja u radu analiza je ograničena na oranične (0 – 30 cm) i podoranične (30 – 60 cm) slojeve, neovisno o genetskim horizontima. U laboratoriju su određena fizikalna (tekstura, volumna gustoća, gustoća čvrste faze tla i poroznost) i kemijska svojstva tla (reakcija tla, sadržaj humusa, AL-P₂O₅, AL-K₂O, hidrolitička kiselost, sadržaj karbonata i sastav adsorpcijskog kompleksa tla).

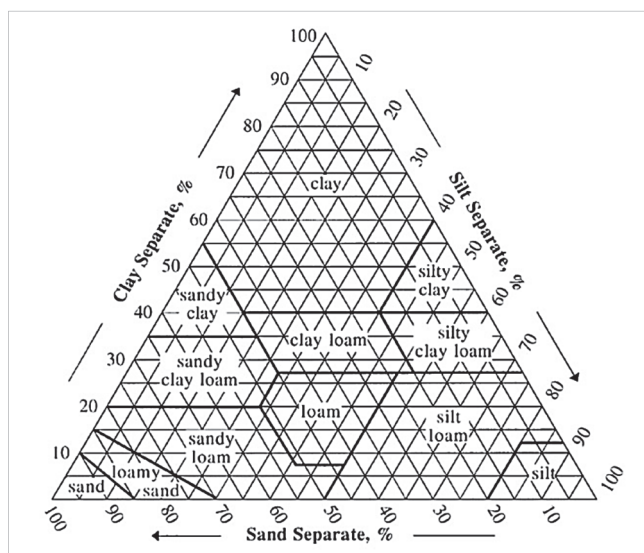
3.1. Određivanje fizikalnih svojstava tla

3.1.1. Mehanički sastav i tekstura tla

Relativni udio pojedinih skupina čestica (frakcija) u ukupnoj masi tla predstavlja teksturu. Udio frakcija pijeska (2 – 0,05 mm), praha (0,05 – 0,002 mm) i gline (< 0,002 mm) određen je kombinacijom metoda prosijavanja i sedimentacije, odnosno pipet metodom (Škorić, 1992.).

Postupak je slijedeći: u plastičnu bocu od 500 ml odvaže se 10 g zračno suhog tla i prelije se 25 ml 0,4 n Na₄P₂O₇ x 10 H₂O. Suspenzija se promućka, ostavi preko noći, a sutradan se dodaje 250 ml destilirane vode te mućka 6 sati na rotacijskoj mućkalici. Nakon mućkanja određuju se pojedine frakcije. Prvo suspenziju tla treba, prema Dugaliću i Gajiću (2005.), kvantitativno prenijeti u cilindar za sedimentaciju preko dva sita s otvorima promjera 0,2 i 0,05 mm. Na sitima zaostaju čestice krupnog i sitnog pijeska. One se ispiranjem prenese u porculansku zdjelicu, otpare na vodenoj kupelji, osuše do konstantne mase u električnom sušioniku na 105 °C, ohlade u vakuum eksikatoru i odvažu. Dobivene mase je potrebno preračunati u %-tni udio frakcija. Za određivanje frakcije praha i gline pipetiranjem prvo je potrebno cilindar za sedimentaciju dopuniti destiliranom vodom do 1000 ml, mućkati 1 min te ostaviti u mirovanju 4' 48". Tada se s dubine od 10 cm pipetira 10 ml uzorka, prenese u

porculanski lončić, otpari na vodenoj kupelji, suši u električnom sušioniku na 105 °C, hladi i važe te izračunava postotni udio frakcije praha i gline. Kako bi se odredila frakcija gline uzorak u cilindru se ponovno mučka 1 min. Nakon mirovanja od 8 sati s dubine od 10 cm pipetira se 10 ml suspenzije. Ona se otparava, suši, hladi i važe te izračunava postotak frakcije gline (< 0,002 mm). Teksturna klasa je određena pomoću teksturnog trokuta (slika 1.) prema USDA klasifikaciji (Soil Survey Division Staff, 1993).



Slika 1. Teksturni trokut

(Izvor: https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167)

3.1.2. Gustoća tla

Gustoća tla (*engl. bulk density*) je omjer mase i volumena, a izražava se u g cm^{-3} . Određivanje volumne gustoće (ρ_b) vrši se u fizički neizmijenjenim uzorcima uzetim na terenu u metalne cilindre volumena 100 cm^3 (ISO 11272, 1998.). Gustoća čvrste faze tla (*engl. particle density*, ρ_s) napravljena je u svim uzorcima prema ISO 11508 (1998.) kako bi se mogla izračunati ukupna poroznost tla.

Obje gustoće izračunavaju se po izrazu: $\rho = m_s / V$.

3.1.3. Ukupna poroznost tla

Prazni prostori unutar strukturnih agregata tla i između njih su pore. U njima se nalazi voda (tekuća faza) ili zrak (plinovita faza) tla. Ukupna količina pora u tlu (P) je volumen svih pora u jedinici volumena tla u fizički neizmijenjenom stanju, a izražava se u % vol.

Određena je računski (Škorić, 1992.) prema izrazu: $P = (1 - (\rho_b / \rho_s)) \times 100$

3.2. Određivanje kemijskih svojstava tla

3.2.1. Reakcija tla

Reakcija tla izražava se kao pH-vrijednost (negativan logaritam koncentracije H^+ iona u otopini tla). Određena je elektrometrijski, pH-metrom WTW Multi 9420, prema HRN ISO 10390 (2005.). Izmjerene su: aktualna kiselost u suspenziji tla i deionizirane vode u omjeru 1 : 2,5 te supstitucijska kiselost u suspenziji tla i 1 M KCl, također u omjeru 1 : 2,5.

3.2.2. Sadržaj humusa u tlu

Sadržaj humusa u tlu određen je metodom mokrog spaljivanja organske tvari kalijevim bikromatom (HRN ISO 14235, 1994.). Koncentracija organskog ugljika izmjerena je u uzorcima na spektrofotometru Varian Cary 50 pri valnoj duljini 585 nm. Dobivena očitavanja su pomnožena s faktorom 1,724 (humus u prosjeku sadrži 58 % C pa je 1 % C = 1,724 % humusa) kako bi se dobio %-tni sadržaj humusa u tlu.

3.2.3. AL-metoda određivanja fosfora i kalija

Određivanje koncentracije biljkama lako pristupačnih oblika fosfora i kalija u tlu vrši se AL-metodom ekstrakcije tla s amonijevim laktatom (Đurđević, 2014.). Za ekstrakciju je potrebno u plastičnu bocu za izmućkavanje odvagati 5 g zračno suhog tla, prelići sa 100 ml ekstrakcijske AL-otopine i mućkati 2 h. Nakon filtracije u bistrom supstratu se određuju fosfor u obliku P_2O_5 i kalij u obliku K_2O .

Plavom metodom određuje se fosfor. Od bistrog filtrata pipetom se prenese 10 ml u odmjernu tikvicu od 100 ml, doda 9 ml 4 M H_2SO_4 i dopuni destiliranom vodom do $\frac{1}{2}$ volumena tikvice. Pri zagrijavanju uzorcima se dodaje 10 ml 1,44 % amonijevog molibdata i 2 ml 2,5 % askorbinske kiseline. Nakon 30 min zagrijavanja razvije se kompleks plave boje, a paralelno se pripremi i serija standardnih otopina. Pošto je završilo hlađenje tikvice se do oznake dopune destiliranom vodom. Serija standarda i uzorci mjereni su (680 nm valne duljine) na spektrofotometru Varian Cary 50. Temeljem očitavanja standarda izrađuje se kalibracijski dijagram, a zatim pomoću njega izračunava količina fosfora u uzorcima tla, a izražava se u $mg P_2O_5 100 g^{-1}$ (Vukadinović i Bertić, 1989.). Koncentracije biljkama pristupačnog kalija izmjerene su u ekstraktu tla emisijskom tehnikom na AAS-u (Shimadzu AA-7000) pri valnoj duljini 766,5 nm u odnosu na seriju standardnih otopina. Rezultat se

izražava u mg K₂O 100 g⁻¹ tla. Prema utvrđenoj koncentraciji AL-P₂O₅ i AL-K₂O tla se razvrstavaju u različite klase opskrbljenosti.

3.2.4. Volumetrijsko određivanje sadržaja karbonata

Princip volumetrijske metode, prema Dugaliću i Gajiću (2005.), je da se pri određenom tlaku i temperaturi zraka izmjeri volumen CO₂ koji se oslobađa tijekom reakcije zemnoalkalijskih karbonata (CaCO₃) i klorovodične kiseline (HCl).

Sadržaj karbonata određen je u svim uzorcima u kojima je pH-KCl bio niži od 6,0 prema HRN ISO10693 (2004.). Korišten je Scheiblerov kalcimetar, koji se sastoji od tri staklene cijevi (A, B, C) smještene na metalnom stalku i bočice D. Sve su međusobno spojene gumenim crijevima. U bočicu je odvagano 0,5 – 5 g tla, preliveno s ~10 %-tnom HCl. Nakon razvijanja CO₂ izjednačava se razina tekućina u cijevima B i A te očita volumen razvijenog CO₂. Za točni izračun neophodni su podaci o temperaturi i tlaku u prostoriji.

3.2.5. Hidrolitička kiselost

Hidrolitička ili potencijalna kiselost tla aktivira se hidrolitički alkalnim solima (soli jakih baza i slabih kiselina), kao što su natrijev acetat ili kalcijev acetat. Tijekom reakcije dolazi do supstitucije H⁺ iona adsorpcijskog kompleksa tla s baznim kationima acetata (Đurđević, 2014.). Nastaje octena kiselina čija količina se utvrdi titracijom, a ona odgovara koncentraciji lako izmjenjivih H⁺ i Al³⁺ iona adsorpcijskog kompleksa tla. Vrijednosti hidrolitičke kiselosti izražavaju se u cmol(+) kg⁻¹, a služe za izračunavanje kapaciteta adsorpcije kationa (KIK) i potrebne količine materijala za kalcizaciju kiselih tala. U postupku je 20 g zračno suhog tla preliveno s 50 ml Na-acetata, mućkano 1 h i filtrirano. 10 ml filtrata je zagrijano i još vruće titrirano s 0,1 N NaOH do pojave ružičaste boje. Na kraju je hidrolitička kiselost izračunata prema formuli:

$$Hk = \frac{a \cdot k \cdot 10 \cdot 1,75}{m}$$

3.2.6. Kapacitet adsorpcije kationa

Uobičajeno je da se za određivanje KIK-a u tlu koristi metoda izmjene kationa na adsorpcijskom kompleksu tla s amonijevim kationima iz otopine CH₃COONH₄.

Za ekstrakciju je 10 g zračno suhog tla preliveno s 50 ml 1M CH₃COONH₄, ostavljeno 24 h u mirovanju te centrifugirano u Hettich Rotanta 460 centrifugi u tri ponavljanja. Koncentracija kationa izmjerena je na AAS-u (Shimadzu AA-7000) apsorpcijskom tehnikom za Ca²⁺ (na 422,7 nm) i Mg²⁺ (na 202,6 nm), a emisijskom za K⁺ (na 404,4 nm) i Na⁺ (na 589,0 nm). KIK se izražava u centimolima naboja po kilogramu tla (cmol(+) kg⁻¹).

Kod izračuna KIK-a prvo se koncentracije Ca, Mg, K i Na moraju preračunati u ekvivalentnu vrijednost koje se zatim zbroje. Ako je uzorak tla kisele reakcije treba dodati i njegovu vrijednost hidrolitičke kiselosti (Vukadinović i Bertić, 1989.).

4. REZULTATI

Istraživanje je provedeno na različitim tipovima tala. Izabrana su dva tipa tla kisele reakcije (pseudoglej i luvisol) i dva neutralne do alkalne reakcije (černoze i solonec). Za svaki tip pojedinačno analizirani su uzorci s pet lokacija na području Slavonije i Baranje.

4.1. Klasifikacija tala

Tipovi tala određeni su prema hrvatskoj klasifikaciji (Bašić, 2013., Husnjak, 2014.). Također, na svim lokacijama su utvrđene i referentne grupe tala, prema Svjetskoj referentnoj bazi tala (WRB, 2006., 2015.).

a) Profili P1 – P5

- hrvatska klasifikacija: red - *semiterestrična tla*, razred – *pseudo i stagnoglejna tla*, tip – *pseudoglej*;
- prema WRB: referentna grupa tala *Stagnosols*.

b) Profili L6 – L10

- hrvatska klasifikacija: red – *terestrična tla*, razred – *eluvijalno-iluvijalna tla*, tip tla – *lesivirano tlo (luvisol)*;
- prema WRB: referentna grupa tala *Luvisols*.

c) Profili C11 – C15

- hrvatska klasifikacija: red – *terestrična tla*, razred – *humusno-akumulativna tla*, tip – *černoze*;
- prema WRB: referentna grupa tala *Chernozems*.

d) Profili S16 – S20

- hrvatska klasifikacija: red – *halomorfna tla*, razred – *akutno alkalna tla*, tip – *solonec*;
- prema WRB: referentna grupa tala *Solonetz*.

4.2. Kemijska svojstva tla

4.2.1. Kemijska svojstva pseudogleja i luvisola

Reakcija tla (pH-KCl) je u pseudoglejima do 60 cm dubine ekstremno kisela (Soil Survey Division Staff, 1993.) do vrlo jako kisela. Vrijednosti supstitucijske kiselosti u oraničnom sloju kreću se od 3,85 do 4,87 (prilog tablica 1.), a u podoraničnom od 3,91 do 4,55 (prilog tablica 2.) uz vrlo nisku varijabilnost (CV = 0,06 %).

Tablica 1. Kemijska svojstva pseudogleja i luvisola

Profil	Sloj	Reakcija tla		mg 100 g ⁻¹ tla		Humus %	Hk cmol(+) kg ⁻¹	KIK cmol(+) kg ⁻¹
		pH-KCl	pH-H ₂ O	AL-P ₂ O ₅	AL-K ₂ O			
P1	o	4,87	5,94	0	15,85	2,43	3,76	16,77
	po	4,55	5,93	3,3	14,01	1,57	4,94	18,75
P2	o	3,85	5,83	1,4	11,46	1,88	8,31	20,05
	po	3,91	5,80	1,2	9,81	1,41	5,95	22,07
P3	o	3,97	5,47	0,6	10,96	1,66	5,25	15,22
	po	4,33	5,85	0	7,60	0,94	2,89	14,65
P4	o	4,01	5,45	0,4	9,36	1,87	7,61	13,52
	po	3,98	5,60	0,4	7,14	0,81	5,86	16,53
P5	o	4,64	5,84	1,2	17,97	2,67	4,11	12,10
	po	4,23	5,78	1,5	9,85	1,13	5,78	13,96
L6	o	4,49	5,81	1,9	9,69	1,72	4,03	15,62
	po	4,66	6,24	2,6	12,08	1,20	3,41	16,48
L7	o	4,88	6,03	0	16,02	2,11	3,72	15,18
	po	5,40	6,50	45,6	16,51	1,74	1,78	14,31
L8	o	5,18	6,27	13,4	16,44	1,63	2,06	11,54
	po	5,40	6,44	15,0	13,10	1,35	2,01	11,71
L9	o	4,90	6,11	2,7	16,37	2,47	3,81	17,65
	po	4,81	6,28	9,4	12,26	1,35	3,15	17,64
L10	o	4,83	6,04	2,8	13,20	2,27	2,54	11,46
	po	4,71	6,28	7,0	11,37	1,37	2,36	13,97

Kratice: **o** - oranični sloj; **po** - podoranični sloj; **Hk** - hidrolitička kiselost; **KIK** – kationski izmjenjivački kapacitet

Rezultati aktualne kiselosti ukazuju na jako do umjereno kiselu reakciju. Do 30 cm dubine minimalna vrijednost pH-H₂O je 5,45, a maksimalna 5,94 (prilog tablica 1.). U podoraničnim slojevima pH-H₂O je u rasponu od 5,60 do 5,93 (prilog tablica 2.).

Najniža vrijednost supstitucijske kiselosti luvisola (prilog tablica 1.) u površinskih 30 cm je 4,49 (vrlo jako kiselo) do 5,18 (jako kiselo). Istovremeno, pH-H₂O je od 5,81 (umjereno kiselo) do 6,27 (slabo kiselo). U podoraničnim slojevima (prilog tablica 2.) nema značajne razlike u vrijednostima aktualne i supstitucijske kiselosti (pH-KCl = 4,66 - 5,40, a pH-H₂O = 6,24 - 6,50).

Podatak o hidrolitičkoj kiselosti (Hk) na dubini do 30 cm koristi se za donošenje odluke o potrebi kalcizacije. U P1 Hk iznosi 3,76 cmol(+) kg⁻¹ (tablica 1.) pa nije obvezno unošenje kalcizacijskog materijala. U ostalim pseudoglejima popravka kalcizacijom je obvezna, jer su vrijednosti iznad 4 cmol(+) kg⁻¹. Najviša Hk je u profilu P2 i iznosi 8,31 cmol(+) kg⁻¹.

U luvisolima je najviša hidrolitička kiselost (4,03 cmol(+) kg⁻¹) izmjerena u oraničnom sloju L6 profila (prilog tablica 1.) pa se može zaključiti kako kalcizacija nije obvezna mjera agrokemijske popravke.

O sadržaju organske tvari, odnosno humusa, u tlima ovise vodno zračni odnosi, ali i sveukupna plodnost tla. Površinski slojevi istraživanih pseudogleja i luvisola su, prema Dugaliću i Gajiću (2005.), slabo humozni. Pseudogleji sadrže 1,66 – 2,67 % humusa, a luvisoli 1,63 – 2,47 % (prilog tablica 1.). Očekivano, u podoraničnim slojevima razina humusa opada (0,81 – 1,57 % u pseudogleju, odnosno 1,20 – 1,74 % u luvisolima), što je vidljivo u prilog tablici 2.

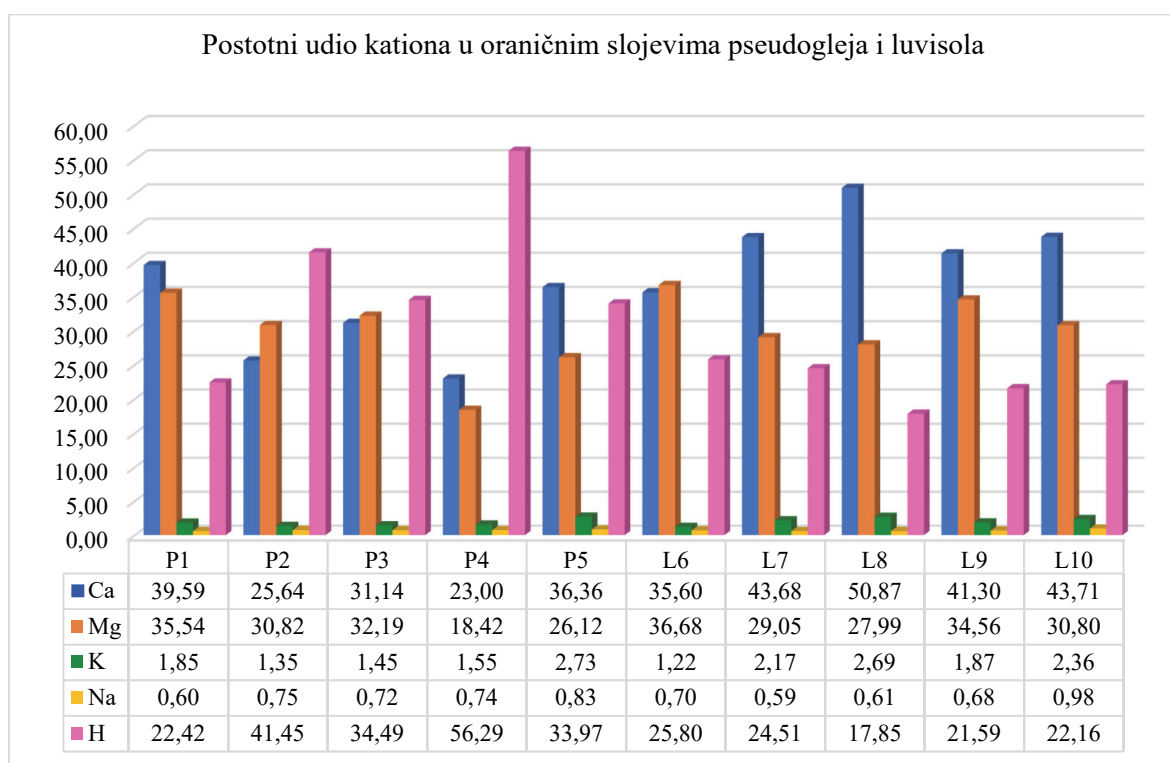
U suvremenoj poljoprivrednoj proizvodnji važno je kontinuirano pratiti plodnost tla / zemljišta. Ova potreba naročito dolazi do izražaja u izračunu količine hraniva potrebnih biljkama za postizanje visokih i kvalitetnih prinosa. Stoga, obvezna je kemijska analiza kojom će se utvrditi količina biljkama pristupačnih fosfora i kalija. Rezultati AL- metode u tablici 1. pokazuju da su istraživani pseudogleji jako siromašni fosforom do 60 cm dubine (Vukadinović i Vukadinović, 2011.). U oraničnom sloju najviši sadržaj AL-P₂O₅ je 1,40 mg 100 g⁻¹ tla (prilog tablica 1.) što se može povezati s ekstremno do vrlo jako kiselom reakcijom. Prema rezultatima uočava se i da su jako siromašni do siromašni biljkama pristupačnim kalijem. Do 30 cm dubine izmjerene vrijednosti su 9,36 - 17,97 mg AL-K₂O 100 g⁻¹ tla (tablica 1.), a u dubljim slojevima od 7,14 do 14,01 mg AL-K₂O 100 g⁻¹ tla (prilog tablica 2.).

Luvisoli (L6, L7, L9 i L10) do 30 cm dubine su jako siromašni raspoloživim fosforom (do 2,8 mg AL-P₂O₅ 100 g⁻¹ tla), dok je L8 siromašan (13,4 mg AL-P₂O₅ 100 g⁻¹ tla). U

podoraničnim slojevima svih luvisola viša je razina AL-P₂O₅ (tablica 1.). Najviša je u L7 (ekstremno visoka raspoloživost s 45,6 mg AL-P₂O₅ 100 g⁻¹ tla) i L8 (dobra raspoloživost s 15,0 mg AL-P₂O₅ 100 g⁻¹ tla). Prema sadržaju AL-K₂O profili L6 do L10 su jako siromašni do siromašni raspoloživim kalijem. U površinskim slojevima sadržaj je u granicama od 9,69 do 16,44 mg AL-K₂O 100 g⁻¹ tla, a u podoraničnim od 12,08 do 16,51 mg AL-K₂O 100 g⁻¹.

4.2.2. Sastav adsorpcijskog kompleksa pseudogleja i luvisola

Adsorpcijski kompleks tla je, prema Škoriću (1991.), skup organskih i mineralnih spojeva koloidnog karaktera. U njegov sastav ulaze sekundarni alumosilikati, humus, seskvi oksidi, fragmetni stijena i sl.

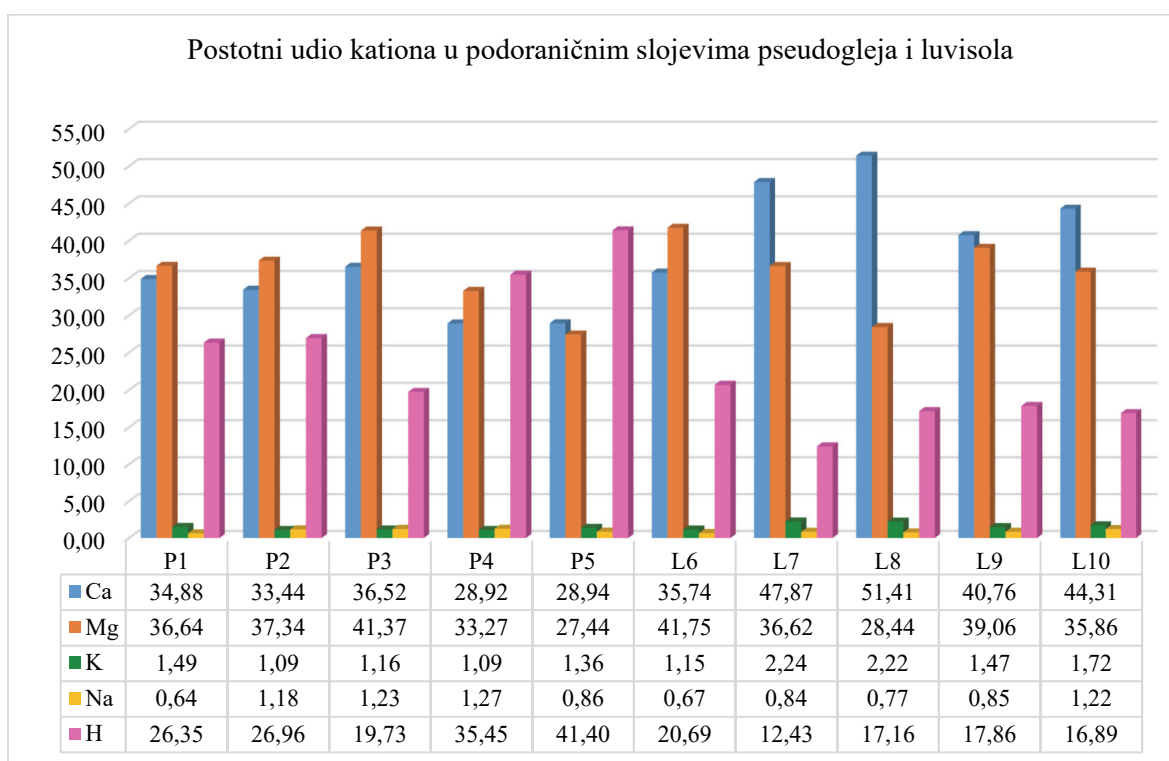


Grafikon 1. Sastav adsorpcijskog kompleksa pseudogleja i luvisola na 0 – 30 cm dubine

S obzirom na to da je s aspekta biljne proizvodnje važna koncentracija elemenata biljne ishrane, kao i onih koji mogu značajno narušiti fizikalno-mehanička svojstva bitan je i podatak o veličini kationskog izmjenjivačkog kapaciteta (KIK). U tablici 1. prikazane su vrijednosti za odabrana tla kisele reakcije. Vrijednosti KIK-a u oraničnim slojevima pseudogleja kreću se od 12,10 do 20,05 cmol(+) kg⁻¹ što, prema Hazelton i Murphy (2007.),

označava srednju kategoriju (prilog tablica 1.). U dubljim slojevima KIK je u rasponu 13,96 – 22,07 cmol(+) kg⁻¹ (prilog tablica 2.). U tablici 1. je vidljivo da su najniže vrijednosti u oba sloja zabilježene na lokaciji profila P5, a najviše u oba sloja profila P2.

U lesiviranim tlima vrijednosti KIK-a su niske do umjerene. Najviši KIK je izmjeren u profilu L9 (tablica 2.) u oba sloja (17,65 cmol(+) kg⁻¹ u oraničnom i 17,64 cmol(+) kg⁻¹ u podoraničnom sloju). Najniži KIK do 30 cm dubine je u profilu L10 (11,46 cmol(+) kg⁻¹), a u profilu L8 na dubini 30 – 60 cm (11,71 cmol(+) kg⁻¹).



Grafikon 2. Sastav adsorpcijskog kompleksa pseudogleja i luvisola na 30 - 60 cm dubine

O koncentraciji pojedinih kationa adsorpcijskog kompleksa tla (AK) ovisi niz fizikalnih svojstava, a u konačnici i pogodnost tala za određeni vid proizvodnje. Najzastupljeniji kationi u adsorpcijskom kompleksu su: kalcij (Ca²⁺), magnezij (Mg²⁺), kalij (K⁺) i natrij (Na⁺), a u kiselim tlima još i vodik (H⁺) i aluminij (Al³⁺). S obzirom da su ostali kationi u vrlo niskim koncentracijama za izračun KIK-a uzimaju se vrijednosti najzastupljenijih. Koncentracija pojedinih kationa u AK može se izraziti u cmol(+) kg⁻¹ ili na praktičniji način, u vidu postotka (%).

Iz razloga što su pseudoglejna i lesivirana tla kisele reakcije na grafikonima 1. i 2. prikazan je i postotni udio H⁺ iona. Prema Hazelton i Murphy (2007.) većina biljaka ima optimalne

uvjete za rast i razvoj kada je kalcij na AK zastupljen sa 65 - 80%, magnezij s 10 - 15%, kalij s 1 - 5% i natrij < 1%.

Na grafikonima 1. i 2. vidljiv je viši udio H^+ iona u pseudoglejima što se može povezati s kiselijom reakcijom. Najviše vodika je na dubini do 30 cm u P4 (56,29 %), a najmanje u L7 (12,43 %) u podoraničnom sloju. Najviše Ca^{2+} iona u AK ima profil L8 (50,87 % u oraničnom i 51,41 % u podoraničnom sloju), a najmanje P4 (23,00 % u oraničnom i 28,92 % u podoraničnom sloju). Udio Mg^{2+} iona je najviši u L6 (36,68 % i 41,75 %), a najniži u profilima P4 (18,42 % u oraničnom) i P5 (27,44 % u podoraničnom sloju). Koncentracija kalijevih iona je < 3 %, a natrijevih < 1,5 % cijelom istraživanom dubinom.

4.2.3. *Kemijska svojstva černoze i soloneca*

U prilog tablicama 1. i 2. vidljivo je da su černoze u oraničnim slojevima slabo kisele (pH-KCl 6,00) do slabo alkalne reakcije (pH-KCl 7,73), kao i u podoraničnim (pH-KCl = 6,34 – 7,86). S obzirom na činjenicu da je les matični supstrat na kojem su formirani černoze reakcija u vodi je neutralna (pH- H_2O 7,12) u C12 do jako alkalna (pH- H_2O 8,59) u C15.

Aktualna kiselost u solonecima daje potpuno drugačiju sliku. Naime, u oraničnim slojevima najniža vrijednost izmjerena je u S17 i ukazuje na slabo kiselu reakciju (pH- H_2O 6,37), a najviša (S16) na vrlo jako alkalnu reakciju (pH- H_2O 9,76) (tablica 2.). Podoranični slojevi soloneca, kako je i očekivano, imaju više vrijednosti. Raspon aktualne reakcije je od neutralne (6,75) u S18 do vrlo jako alkalne (10,18) u S20. pH- H_2O > 8,5 upućuje na potrebu primjene kemijskih melioracijskih mjera (gipsanje) kojima bi se snizio pH do optimalnih vrijednosti.

Les je materijal koji izvorno sadrži 25 – 30 % $CaCO_3$ što izravno utječe i na reakciju tla te ona postaje alkalna. Zbog toga je u tablici 2. uočljiv porast sadržaja karbonata s dubinom. U oraničnim slojevima je u granicama 2,89 - 7,41 %, dok je u podoraničnim 4,96 – 16,88 % (prilog tablice 1. i 2.), što je praćeno i višim vrijednostima aktualne kiselosti (pH- H_2O).

U solonecima uzrok alkalne reakcije tla nije samo visok sadržaj $CaCO_3$ nego i Na_2CO_3 , koji je obvezno praćen udjelom Na^+ na AK > 15 %. U površinskih 30 cm tla sadržaj $CaCO_3$ je od 2,36 do 4,73 % (prilog tablica 1.). U podoraničnom sloju (30 – 60 cm) najviši sadržaj karbonata izmjeren je u S16 (37,39 %).

Prema Škoriću (1986.) černozemi sadrže 4 – 6 % blagog humusa. Međutim, rezultati prikazani u tablici 2. pokazuju da su istraživani černozemi slabo humozni (1,66 – 2,64 %), kao i soloneci (1,25 – 2,51 %).

Tablica 2. Kemijska svojstva černozema i soloneca

Profil	Sloj	Reakcija tla		mg 100 g ⁻¹ tla		Humus %	CaCO ₃ %	KIK cmol(+) kg ⁻¹
		pH-KCl	pH-H ₂ O	AL-P ₂ O ₅	AL-K ₂ O			
C11	o	7,49	8,36	97,30	27,18	2,19	2,89	27,75
	po	7,62	8,40	133,40	22,50	1,77	4,96	39,64
C12	o	6,00	7,08	19,90	20,83	1,66	7,02	43,04
	po	6,34	7,12	13,30	17,23	1,74	10,32	60,68
C13	o	7,73	8,46	20,70	32,36	2,64	7,41	96,28
	po	7,86	8,52	5,30	15,83	2,00	16,88	121,20
C14	o	7,71	8,50	14,00	25,85	2,56	3,29	40,07
	po	7,75	8,49	2,30	16,00	1,68	13,17	118,34
C15	o	7,68	8,47	26,40	32,38	2,09	6,59	83,73
	po	7,77	8,59	19,30	22,35	1,84	13,58	111,16
S16	o	7,58	9,76	24,30	30,58	1,30	4,73	17,35
	po	8,80	10,21	10,40	11,11	0,76	37,39	18,78
S17	o	5,21	6,37	25,21	20,44	2,51	3,37	13,17
	po	6,38	7,36	22,20	20,74	1,19	1,47	17,51
S18	o	5,02	6,45	32,10	28,51	2,37	2,74	15,52
	po	5,29	6,75	25,30	27,97	0,84	1,68	23,24
S19	o	8,05	9,46	10,20	15,63	1,25	4,26	26,33
	po	8,42	9,85	9,60	11,10	0,80	32,35	31,20
S20	o	7,20	9,17	6,30	19,66	1,76	2,36	32,91
	po	8,62	10,18	1,90	13,24	0,80	32,61	22,59

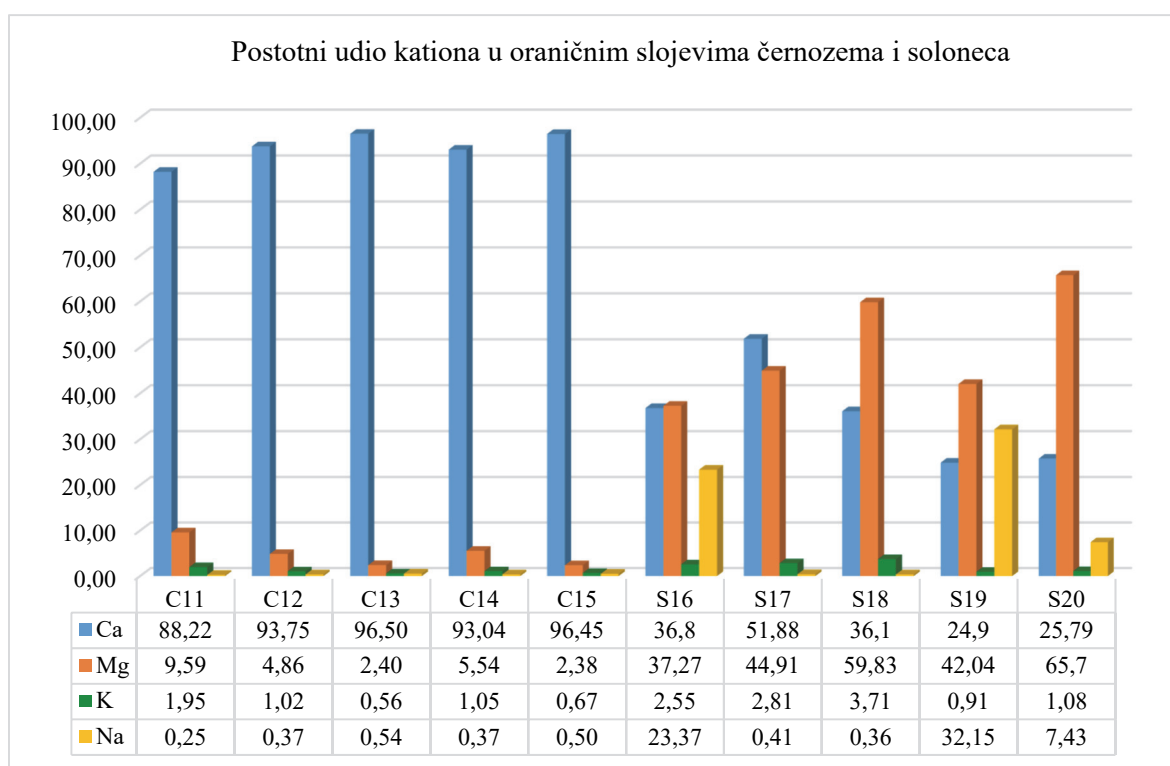
Kratice: **o** - oranični sloj; **po** - podoranični sloj; **KIK** – kationski izmjenjivački kapacitet

Opskrbljenost biljkama raspoloživim oblicima fosfora i kalija ovisi o mnogo prirodnih čimbenika, ali u velikoj mjeri i o načinu gospodarenja zemljištem. Stoga su i rezultati AL-metode vrlo šaroliki. Ekstremno visoka opskrbljenost s AL-P₂O₅ vidljiva je u profilu C11 (97,30 mg u oraničnom i 133,40 mg u podoraničnom sloju). Profili černozema na drugim lokacijama su u granicama dobre do visoke opskrbljenost biljkama pristupačnim fosforom. U solonecima su rezultati vrlo slični. Sadržaj AL-P₂O₅ kreće se u oraničnim slojevima u granicama 6,30 – 32,10 mg 100g⁻¹. S dubinom sadržaj hraniva opada.

Opskrbljenost kalijem, koji je pristupačan biljkama, je u černozeima od 20,83 (C12) do 32,38 (C15) mg AL-K₂O 100g⁻¹. Solonci su također dobre do visoke opskrbljenosti s rasponom od 15,63 do 30,58 mg AL-K₂O 100 g⁻¹.

4.2.4. Sastav adsorpcijskog kompleksa černozeima i soloneca

Analiza rezultata KIK-a (tablica 2.) pokazuje visoke do vrlo visoke vrijednosti u obje dubine. Najviši KIK u oraničnim slojevima je u C13 (96,28 cmol(+) kg⁻¹), a najniži u C11 (27,75 cmol(+) kg⁻¹) (prilog tablica 1.). U dubljim slojevima, do 60 cm, maksimalni KIK je izmjeren u C13 (121,20 cmol(+) kg⁻¹), a minimalni u C11 (39,64 cmol(+) kg⁻¹).

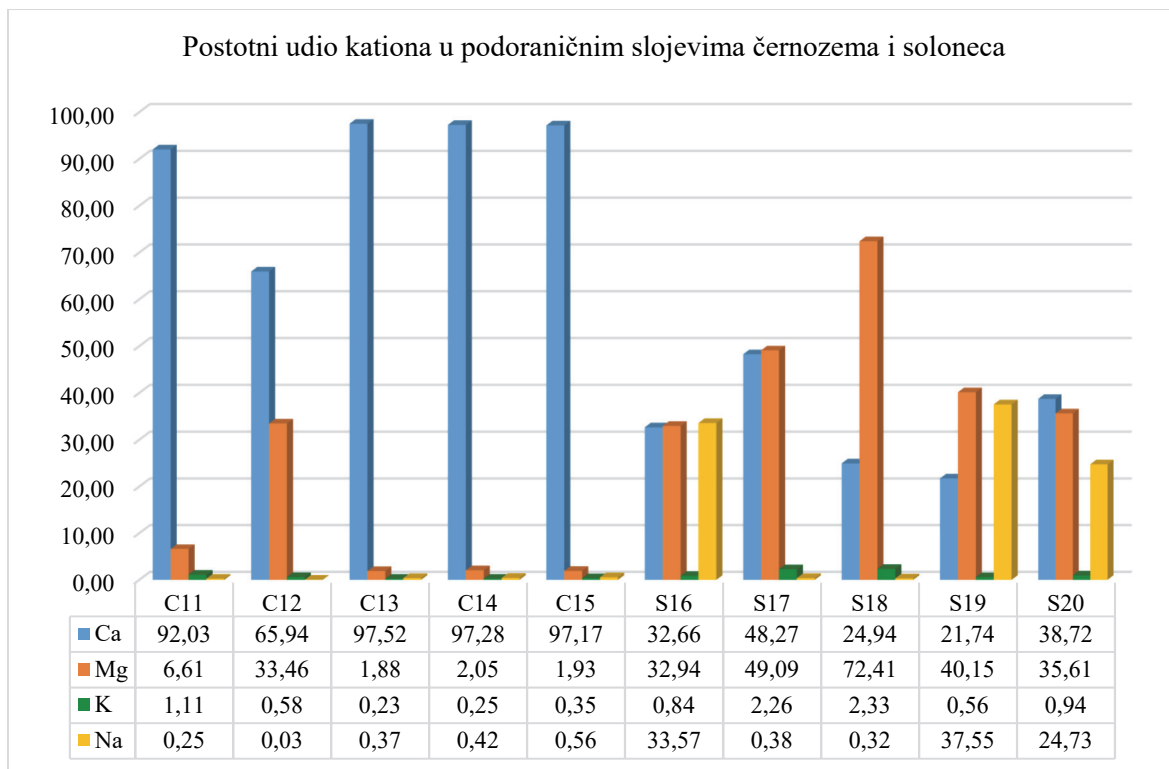


Grafikon 3. Sastav adsorpcijskog kompleksa černozeima i soloneca na 0 - 30 cm dubine

U solonecima KIK je srednji do visoki do 60 cm dubine. U oraničnim slojevima KIK je od 13,17 cmol(+) kg⁻¹ (profil S17) do 32,91 cmol(+) kg⁻¹ u profilu S20 (tablica 2., prilog tablica 1.). U dubljim slojevima raspon je od (17,51 cmol(+) kg⁻¹) do (31,20 cmol(+) kg⁻¹).

U sastavu AK uočava se izrazita dominacija Ca²⁺ u černozeima. U oraničnim slojevima udio Ca²⁺ iona je iznad 80 % (grafikon 3.). U dubljim slojevima najniži udio je u profilu C12 (65,94 %), dok je u ostalima > 90 % (grafikon 4.).

Koncentracije kalija i natrija su niske u oba sloja. Udio kalija na AK je < 2 %, a natrija < 1 %. Koncentracija Mg^{2+} je u uskoj vezi s koncentracijom Ca^{2+} . Na grafikonu 4. vidljiv je niži udio kalcija (65,94 %) u profilu C12, što je rezultiralo znatno višim udjelom magnezijevih iona (33,46 %) u odnosu na ostale profile.



Grafikon 4. Sastav adsorpcijskog kompleksa černozema i soloneca na 30 – 60 cm dubine

U soloncima udio Ca^{2+} na AK je u granicama od 21,74 % u podoraničnom sloju S19 do 51,88 % u oraničnom sloju S17 (grafikoni 3. i 4.), što je ispod optimalne razine. S obzirom da je niska koncentracija kalcija raste zasićenost AK magnezijevim i natrijevim ionima, a uočava se i porast koncentracija s dubinom. U oraničnim slojevima udio Mg^{2+} kreće se u rasponu od 37,27 % (S16) do 65,70 % (S20). U dubljim slojevima (30 – 60 cm) postotni udio Mg^{2+} je od 32,94 % (S16) do 72,41 % (S18). Ove vrijednosti su daleko iznad optimalnih. Udio kalija je < 3%.

Zasićenost AK tla s Na^+ ionima > 15 % znači alkalizaciju, narušavanje fizikalno-mehaničkih svojstava i pad plodnosti. Međutim, kada koncentracija Na^+ prijeđe 7 % tada već nastupa blaga alkalizacija i pogoršavaju se svojstva tla. Na grafikonu 3. je vidljivo da su kritične koncentracije natrija u površinskim slojevima zabilježene u profilima S16 (23,37 %) i S19 (32,15 %). U podoraničnim slojevima koncentracija natrija raste. U S16 dostiže 33,57 %, u S19 37,55, a u S20 je čak 24,73 %. (grafikon 4.).

4.3. Fizikalna svojstva tla

4.3.1. Fizikalna svojstva pseudogleja i luvisola

Sadržaj gline u pseudoglejnim tlima je u rasponu od 19,64 % (P5) do 34,01 % (P2) s teksturom od praškaste ilovače (PrI) do praškasto glinaste ilovače (PrGI). Rezultati prikazani u tablici 3. pokazuju povećanje sadržaja glinastih čestica s dubinom, što je očekivano s obzirom na prisutan proces eluvijacije. Profil P2 ima najviše gline cijelom dubinom s teksturom PrGI.

Tablica 3. Fizikalna svojstva pseudogleja i luvisola

Profil	Sloj	Mehanički sastav tla, %			Tekstura	ρ_b g cm ⁻³	P %
		2,0 - 0,05 mm	0,05 - 0,002 mm	< 0,002 mm			
P1	o	3,67	72,17	24,16	PrI	1,42	45,38
	po	3,09	68,33	28,58	PrGI	1,56	40,00
P2	o	3,23	64,88	31,89	PrGI	1,61	38,08
	po	2,83	63,18	34,01	PrGI	1,68	35,38
P3	o	3,35	72,99	23,65	PrI	1,53	41,15
	po	3,39	72,65	23,96	PrI	1,65	36,54
P4	o	6,10	69,04	24,86	PrI	1,45	44,23
	po	4,20	63,71	32,10	PrGI	1,53	41,15
P5	o	5,05	75,32	19,64	PrI	1,38	46,92
	po	3,25	72,60	24,15	PrI	1,46	43,85
L6	o	3,73	71,72	24,56	PrI	1,55	40,38
	po	2,50	68,33	29,17	PrGI	1,37	47,31
L7	o	4,61	74,64	20,75	PrI	1,39	46,54
	po	3,28	73,06	23,66	PrI	1,59	38,85
L8	o	26,06	56,81	17,13	PrI	1,29	50,38
	po	24,26	58,21	17,53	PrI	1,39	46,54
L9	o	3,39	70,14	26,47	PrI	1,48	43,08
	po	2,33	68,58	29,08	PrGI	1,53	41,15
L10	o	4,58	71,68	23,74	PrI	1,44	44,62
	po	3,34	67,89	28,77	PrGI	1,57	39,62

Kratice: **PrI** = praškasta ilovača; **PrGI** = praškasto glinasta ilovača; ρ_b = volumna gustoća; **P** = poroznost

U luvisolima je sadržaj gline od 17,13 % (L8) do 29,17 % (L6). Također je, očekivano, u podoraničnim slojevima sadržaj viši (tablica 3.). Dominira praškasta ilovača, a PrGI imaju podoranični slojevi profila L6, L9 i L10.

Volumna gustoća pseudogleja ukazuje na srednji intenzitet zbijanja (Hazelton i Murphy, 2007.) u oraničnim slojevima ($\rho_b = 1,38 - 1,61 \text{ g cm}^{-3}$). U dubljim slojevima zbijenost je srednja ($1,46 \text{ g cm}^{-3}$) do visoka ($1,68 \text{ g cm}^{-3}$). Luvisoli su cijelom dubinom srednje zbijeni (tablica 3.). Na dubini do 30 cm $\rho_b = 1,29 - 1,55 \text{ g cm}^{-3}$, a na 30 – 60 cm dubine $\rho_b = 1,37 - 1,59 \text{ g cm}^{-3}$.

Poroznost pseudogleja, prema Škoriću (1992.), je u oraničnom sloju srednja do visoka ($P = 38,08 - 46,92 \%$), a u podoraničnom srednja ($35,38 - 43,85 \%$). U tablici 3. se uočava smanjivanje poroznosti s dubinom, što se može povezati s višim sadržajem gline. Lesivirana tla su srednje do visoko porozna u oraničnim slojevima ($P = 40,38 - 50,38 \%$), kao i u podoraničnim ($P = 38,85$ do $47,31 \%$). Rezultati pokazuju na smanjivanje poroznosti a dubinom, osim u L6 gdje je poroznost viša u podoraničnom sloju.

4.3.2. Fizikalna svojstva černozema i soloneca

Černozemi su tla u kojima nema procesa eluvijacije te se ne očekuje više gline u podoraničnim slojevima. Sadržaj gline je od 15,33 do 28,36 % (tablica 4.). Tekstura je praškasta ilovača, s izuzetkom podoraničnog sloja C12 profila gdje je uz 28,36 % gline tekstura praškasto glinasta ilovača. U solonecima je u dubljim slojevima više gline zbog eluvijacije. U oraničnim slojevima dominira praškasto ilovasta tekstura s 21,79 – 27,40 % gline (tablica 4.). Na dubini 30 – 60 cm sadržaj gline je od 26,79 do 35,57 % pa dominira praškasto glinasto ilovasta tekstura (PrGI).

Volumna gustoća u podoraničnim slojevima černozema je, neočekivano, viša. U površinskim slojevima $\rho_b = 1,32 - 1,57 \text{ g cm}^{-3}$, što označava srednju zbijenost. S dubinom zbijenost postaje srednja do visoka ($\rho_b = 1,29 - 1,67 \text{ g cm}^{-3}$). Iznimka je C15 u kojem je zbijenost u podoraničnom sloju niža (tablica 4.). U solonecima zbijenost s dubinom opada u S16 ($\rho_b = 1,66 - 1,55 \text{ g cm}^{-3}$) i S17 ($\rho_b = 1,53 - 1,44 \text{ g cm}^{-3}$). U ostalim profilima zbijenost raste s dubinom. Oranični slojevi su srednje do visoke zbijenosti ($\rho_b = 1,41 - 1,66 \text{ g cm}^{-3}$), kao i podoranični ($\rho_b = 1,44 - 1,61 \text{ g cm}^{-3}$).

Poroznost je u uskoj vezi s volumnom gustoćom tla. To pokazuju i rezultati u tablici 4. U černozemima su oranični i podoranični slojevi srednje do visoko porozni. Soloneci u površinskih 30 cm imaju srednju poroznost ($P = 35,61 - 44,12 \%$), kao i na dubini 30 do 60 cm ($P = 38,08 - 45,08$).

Tablica 4. Fizikalna svojstva černozema i soloneca

Profil	Sloj	Mehanički sastav tla, %			Tekstura	ρ_b g cm ⁻³	P %
		2,0 - 0,05 mm	0,05 - 0,002 mm	< 0,002 mm			
C11	o	2,62	72,62	24,76	PrI	1,50	42,31
	po	2,95	73,99	23,05	PrI	1,60	38,46
C12	o	3,44	73,51	23,05	PrI	1,57	39,62
	po	3,79	67,85	28,36	PrGI	1,67	35,77
C13	o	3,76	75,00	21,24	PrI	1,36	47,69
	po	5,53	73,34	21,14	PrI	1,60	38,46
C14	o	3,45	73,09	23,45	PrI	1,32	49,23
	po	4,80	76,06	19,14	PrI	1,36	47,69
C15	o	4,57	77,30	18,14	PrI	1,48	43,08
	po	8,49	76,18	15,33	PrI	1,29	50,38
S16	o	4,16	74,05	21,79	PrI	1,66	35,61
	po	8,49	62,32	29,18	PrGI	1,55	41,19
S17	o	6,58	70,21	23,21	PrI	1,53	40,03
	po	5,20	63,19	31,61	PrGI	1,44	45,08
S18	o	8,62	65,76	25,62	PrI	1,55	40,01
	po	3,84	65,02	31,13	PrGI	1,58	39,04
S19	o	4,35	71,93	23,72	PrI	1,41	44,12
	po	6,22	58,20	35,57	PrGI	1,61	40,92
S20	o	3,91	68,70	27,40	PrGI	1,59	36,98
	po	13,84	59,36	26,79	PrI	1,61	38,08

Kratice: **PrI** = praškasta ilovača; **PrGI** = praškasto glinasta ilovača; ρ_b = volumna gustoća; **P** = poroznost

5. RASPRAVA

Adsorpcija u tlu ima važnu ulogu u reguliranju koncentracije makro i mikroelemenata potrebnih biljkama. Sastav adsorpcijskog kompleksa izravno utječe na niz fizikalnih, kemijskih i bioloških svojstava tla te njegovu efektivnu plodnost. Istovremeno, veličina KIK-a je povezana s mineraloškim sastavom tla te sadržajem humusa.

Rezultati u tablici 3. pokazuju povećani sadržaj gline u podoraničnim slojevima pseudoglejnih i lesiviranih tala što potvrđuju u svojim istraživanjima i Vukadinović i sur. (2013.). Autori ističu da je ovakav raspored gline u profilu povezan s intenzitetom eluvijacije, koji je uz iluvijaciju dominantan pedogenetski proces u ovim tlima. Najviše gline zabilježeno je u profilu P2 koji jedini cijelom dubinom ima praškasto glinasto ilovastu teksturu (PrGI). U luvisolima dominira praškasta ilovača (PrI).

O teksturi tla ovise vodno zračni odnosi, fizikalno-mehanička svojstva (zbijenost, plastičnost, otpor tla), veličina KIK-a i sl. Zbijanje u pseudoglejnim i lesiviranim tlima raste s dubinom, što je u uskoj vezi s povećanim sadržajem gline. U oraničnim slojevima pseudogleja Vukadinović i sur. (2013.) dobili su vrlo značajnu korelaciju između volumne gustoće i sadržaja gline ($r = 0,665^{**}$). $1,6 \text{ g cm}^{-3}$ je kritična vrijednost volumne gustoće za ilovasta tla pri kojoj ono pruža veći otpor prodoru korijena u dubinu (Jones, 1983., citat: Hazelton, Murphy, 2007.). Profil P2 cijelom dubinom prelazi ove vrijednosti ($1,61 - 1,68 \text{ g cm}^{-3}$) te se mogu očekivati problemi u poljoprivrednoj proizvodnji.

U tlima s nižim sadržajem gline, ako je viši sadržaj humusa i vrijednosti KIK-a su više u odnosu na tla s manjom količinom humusa. Na ovakav način poboljšava se puferna sposobnost tla i usporava proces zakiseljavanja.

Černozemi su praškasto ilovaste tekture, a pošto u njima izostaju eluvijacijski procesi u podoraničnim slojevima sadržaj gline se ne povećava. Volumna gustoća černozema raste s dubinom, što može biti posljedica zbijanja uslijed primjene neadekvatnog sustava obrade tla i teške mehanizacije. Solonec je tlo koje se formira u specifičnim uvjetima semiaridne ili aridne klime. Pri tome je u genezi soloneca u kontinentalnom području bitna akumulativna migracija. Ona označava kapilarno uzdizanje podzemne vode, koja je ujedno zasićena alkalnim solima natrija, kalcija, magnezija i kalija (Vukadinović i Rengel., 2007.). Uslijed stagniranja vode na površini dolazi do eluvijacije gline u podoranične slojeve i nastanka iluvijalnog glinastog horizonta zasićenog natrijevim ionima. Tekstura soloneca u

površinskih 30 cm je PrI (21,79 – 27,40 % gline), a u podoraničnim PrGI (26,79 - 35,57 % gline). Zbijenost je srednja do visoka u oba sloja. Vukadinović i sur. (2010.) zaključuju da visoka zbijenost, naročito u podoraničnim slojevima zahtijeva obveznu mjeru prorahljivanja kako bi se poboljšala hidraulička vodljivost.

Reakcija tla u pseudoglejima, izražena kroz vrijednost supstitucijske kiselosti, je ekstremno do vrlo jako kisela ($\text{pH-KCl} = 3,85 - 4,87$). Prema Škoriću (1986.) u pseudoglejnim tlima može se očekivati kisela reakcija s $\text{pH-H}_2\text{O}$ 5,0 - 5,5 i niski KIK od $10,5 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ tla u oraničnom sloju. Rezultati aktualne kiselosti prezentirani u radu kreću se od 5,45 do 5,94. U podoraničnim slojevima $\text{pH-H}_2\text{O}$ je u rasponu od 5,60 do 5,93. KIK u oraničnim slojevima pseudogleja iznosi 12,10 - 20,05 $\text{cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$, a u dubljim slojevima 13,96 – 22,07 $\text{cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$. Prosječni sadržaj organske tvari u pseudoglejima je 2,10 % pa su tla slabo humozna. Đurđević i sur. (2011.) zaključuju da su kisela tla siromašna organskom tvari što uzrokuje imobilizaciju hraniva, prvenstveno fosfora. Slabo kiselu reakciju ($\text{pH-H}_2\text{O}$ 6,56) i nizak KIK ($10,5 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$) u oraničnom sloju dobili su Tomašić i sur. (2013.).

Luvisoli su vrlo jako do jako kiseli (pH-KCl 4,49 – 5,18). Prema Rastiji (2006.), niske pH vrijednosti zabilježene na lesiviranome tlu posljedica su procesa debazifikacije i pojačane acidifikacije površinskih horizonata zbog descendentnoga kretanja vode. Vrijednosti KIK-a u luvisolima su niske do umjerene ($11,46 - 17,65 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$).

Niske vrijednosti pH tla imaju veliki utjecaj na pogodnost poljoprivrednih zemljišta za usjeve. Također, povećana koncentracija H^+ iona ima za posljedicu manjak kalcija u AK. Na grafikonima 1. i 2. vidljiva je dominacija H^+ iona u oraničnom sloju P4 profila (56,29 %). Udio kalcijevih iona je daleko ispod optimuma (23,00 %), a magnezijevih malo povišen (18,42 %). Posljedica je degradacija strukture tla pa i poremećaja u ishrani bilja u nekim proizvodnim područjima. Đurđević i sur. (2011.) preporučuju kalcizaciju na ovakvim tlima, ali uz obveznu kemijsku analizu, jer prekomjerni unos karbonatnih materijala uzrokuje pad organske tvari i smanjuje pristupačnost mikroelemenata biljkama.

Škorić (1986.) i Husnjak (2014.) černozem definiraju kao tlo slabo alkalne reakcije, dok su rezultati u radu pokazali kako su istraživani lokaliteti neutralne do jako alkalne reakcije ($\text{pH-H}_2\text{O} = 7,12 - 8,59$). U podoraničnim slojevima pH raste zbog kemijskih svojstava matičnog supstrata (lesa). Naime, les sadrži 25 – 30 % karbonata što izravno utječe na smanjivanje koncentracije H^+ iona. Supstitucijska kiselost (pH-KCl) černozema u istraživanjima Tomašić i sur. (2013.) iznosila je 6,69 u oraničnom sloju, a u podoraničnom 6,97. KIK je

bio umjeren: 18,1 cmol(+)kg⁻¹ u oraničnom sloju i 20,2 cmol(+) kg⁻¹ tla u podoraničnom. U profilima černozema kapacitet izmjenjivih kationa je visok (27,75 cmol(+) kg⁻¹) do vrlo visok (121,20 cmol(+) kg⁻¹). U sastavu AK dominantni su kalcijevi ioni. U oraničnim slojevima njihov udio je > 85 %, a u podoraničnim > 90 %. Iznimka je C12 profil u kojem je koncentracija Ca²⁺ iona na donjoj optimalnoj razini (65,94 %). Iz tog razloga je udio Mg²⁺ iona znatno viši od optimalnog (33,46 %).

Oranični slojevi soloneca imaju slabo kiselu (pH-H₂O 6,37) do vrlo jako alkalnu reakciju (pH-H₂O 9,76). U podoraničnim slojevima raspon aktualne reakcije je od neutralne (6,75) u S18 do vrlo jako alkalne (10,18) u S20. pH-H₂O > 8,5 upućuje na potrebu primjene kemijskih melioracijskih mjera (gipsanje) kojima bi se snizio pH do optimalnih vrijednosti. Ovako visok pH uzrokovan je visokim postotkom Na⁺ iona na adsorpcijskom kompleksu. Vukadinović i sur. (2010.) analizirajući kemijska i fizikalna svojstva soloneca na tri lokacije utvrđuju da se aktualna kiselost kreće u granicama 9,35 - 10,15. S obzirom da sadržaj karbonata nije jako visok autori zaključuju da je vrlo visoka alkalna reakcija posljedica visoke koncentracije izmjenjivih Na⁺ iona. Uočili su i da horizonti koji sadrže > 20 % Na⁺ iona na AK imaju < 50 % Ca²⁺ iona.

Kod soloneca, u profilima S17 i S18 KIK je umjeren. Vidljiv je rast KIK-a s jačanjem alkalizacije, odnosno porastom pH vrijednosti.

Sastav AK u solonecima ukazuje na velike probleme u poljoprivrednoj proizvodnji. Fizikalno-mehanička svojstva u poljoprivrednim tlima znatno su pogoršana ako su na AK narušeni optimalni odnosi izmjenjivih baza. Naročito je važan omjer Ca²⁺ prema Mg²⁺ i Na⁺. U tlima neutralne ili alkalne reakcije dominiraju bazni kationi. Stoga, ako raste udio magnezija ili natrija smanjuje se udio kalcija u AK.

Stabilnost strukture, prema Pavićeviću (1972.) ovisi o odnosu kationa u adsorpcijskom kompleksu tla. Izražava se omjerom kalcija prema natriju i magneziju ili omjerom svih kationa prema natriju. Tla bogata CaCO₃ ili zasićena kalcijem su dobre i postojeće strukture, a to su u ovom istraživanju černozemi. Pseudogleji i luvisoli imaju visok udio H⁺ iona što smanjuje udio kalcija i pojačava peptizaciju agregata.

Udio Ca²⁺ iona u AK oraničnih slojeva soloneca je ispod optimalnog. Kreće se od 24,9 do 51,88 %. Istovremeno, je udio Mg²⁺ iona izrazito visok (39,27 – 65,70 %), a natrijevih od 0,41 do 32,15 %. U podoraničnim slojevima koncentracija kalcija je i dalje daleko ispod optimalne, a magnezija raste (32,94 – 72,41 %). Udio natrijevih iona u profilima S16 (33,57

%), S19 (37,55) i S20 (24,73) označava vrlo visoku razinu alkalizacije. Dolazi do destabilizacije strukture. Pri obradi u vlažnom stanju strojevi i oruđa propadaju (Vukadinović i sur., 2010.), a jako je izražen i destruktivan utjecaj kiše na strukturne agregate. Zbog nestabilnosti agregati se dispergiraju pri vlaženju, a nakon isušivanja površina je podložna stvaranju pokorice.

6. ZAKLJUČAK

U radu je analiziran utjecaj kationa adsorpcijskog kompleksa na plodnost poljoprivrednih tala. Na području Slavonije i Baranje odabrano je 20 lokacija za 4 tipa tla (pseudoglej, luvisol, černoze i solonec). Iz dobivenih rezultata može se zaključiti sljedeće:

- na svim lokacijama prevladava praškasta ilovača;
- reakcija tla u pseudoglejima i luvisolima je ekstremno do jako kisela (pH-KCl 3,85 – 5,18; pH-H₂O 5,45 – 6,50), a u černozeima i solonecima slabo kisela do vrlo jako alkalna (pH-KCl 6,00 – 8,80; pH-H₂O 7,08 – 10,21);
- KIK u pseudoglejima i luvisolima je nizak do umjeren (11,46 – 22,07 cmol(+) kg⁻¹), u černozeima vrlo visok (27,75 – 121,20 cmol(+) kg⁻¹), a u solonecima umjeren do visok (13,17 – 32,91 cmol(+) kg⁻¹);
- sastav adsorpcijskog kompleksa pseudogleja do 60 cm dubine je: 19,73 – 56,29 % vodika, 23,00 – 39,59 % kalcija, 18,42 – 41,37 % magnezija, < 1,5 % natrija i < 3 % kalija;
- sastav adsorpcijskog kompleksa luvisola do 60 cm dubine je: 17,16 – 25,80 % vodika, 35,60 – 51,41 % kalcija, 28,44 – 41,75 % magnezija, < 1,5 % natrija i < 3 % kalija;
- u sastavu adsorpcijskog kompleksa černozeima dominira kalcij s > 85 % u oraničnim slojevima i > 90 % u podoraničnim. Izuzetak je profil C12, koji u podoraničnom sloju ima 65,94 % kalcija i 33,46 % magnezija. Ostali kationi su niskih koncentracija;
- sastav adsorpcijskog kompleksa soloneca do 60 cm dubine: 21,74 – 51,88 % kalcija, 32,94 – 72,41 % magnezija, 0,32 – 37,55 % natrija i 0,56 – 3,71% kalija.

7. POPIS LITERATURE

1. Bašić, F. (2013.): The Soils of Croatia. World Soils Book Series. Springer.
2. Blum, W.E.H. (2002): Environmental Protection through Sustainable Soil anagement, a Holistic Approach. In M. Pagliai and R. Jones (Eds.): Sustainable Land Management-Environmental Protection-A Soil Physical Approach. Advances in Geoecology 35, 1-8. Catena Verlag GmbH 2002.
3. Cassman, K.G. (1999.): Ecological Intensification of Cereal Production Systems: Yield Potential, Soil Quality, and Precision Agriculture. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 96, 5952-5959.
4. Dugalić, G. J., Gajić, B. A. (2005.): Pedologija – praktikum. Agronomski fakultet Čačak. Čačak.
5. 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.
6. Đurđević, B. (2014.): Praktikum iz ishrane bilja. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet u Osijeku. <http://ishranabilja.com.hr/literatura.html>
7. Galović, V., (2003.): Dinamika natrija u alkalnim tlima istočne Hrvatske, doktorska disertacija, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek
8. 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. <https://www.ncagr.gov/agronomi/obook.htm> 21.8.2018.
9. Hazelton, P., Murphy, P. (2007.): Interpreting soil test results : what do all the numbers mean. NSW Department of Natural Resources. CSIRO Publishing.
10. HRN ISO 14235 (1994.): Kakvoća tla - Određivanje organskog ugljika sulfokromnom oksidacijom. Hrvatski zavod za normizaciju. Zagreb.
11. HRN ISO 10693 (2004.): Kakvoća tla - Određivanje sadržaja karbonata -Volumetrijska metoda. Hrvatski zavod za normizaciju. Zagreb.

12. HRN ISO 10390 (2005.): Kakvoća tla - Određivanje pH-vrijednosti. Hrvatski zavod za normizaciju. Zagreb.
13. Husnjak, S. (2014.): Sistematika tala Hrvatske. Hrvatska sveučilišna naklada. Zagreb.
14. ISO 11272 (1998.): Soil quality - Determination of dry bulk density, ISO, Genève.
15. ISO 11508, 1998. Soil quality - Determination of particle size density, ISO, Genève.
16. IUSS Working Group WRB (2006.): World reference base for soil resources 2006. World Soil Resources Reports, No.103. FAO, Rome.
17. IUSS Working Group WRB (2015.): World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 - International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports, No.106. FAO, Rome.
18. Johnston, A.E. (2003.): Understanding potassium and its use in agriculture. EFMA, 1-40.
19. Lončarić, Z., Rastija, D., Karlić, K., Popović, B., Đurđević, B., Engler, M. (2007.): Mineralna gnojidba fosforom i kalcijem: II. Promjene kemijskih osobina tla. Zbornik radova, 42. hrvatski i 2. međunarodni simpozij agronoma. Zagreb, 76-80.
20. Manrique, L. A., Jones, C. A., Dyke, P. T. (1991.): Predicting Cation-Exchange Capacity from Soil Physical and Chemical Properties. *Sci. Soc. Am. J.* 55:787-794.
21. Osman, K. T. (2014.): Soil Degradation, Conservation and Remediation. Springer. 1-23
22. Palm, C., Sanchez, P., Ahamed, S. and Awiti, A. (2007.): Soils: A contemporary perspective. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 32:99-129p.
23. Pavićević, N., (1972.): Fizika zemljišta (skripta). Univerzitet u Beogradu. Poljoprivredni fakultet Beograd – Zemun. Beograd
24. Rastija, D., (2006.): Režim vlažnosti i prinosi kukuruza i pšenice na kalciziranim kiselim tlima, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, doktorski rad.
25. Rayment, G.E., Higginson, F.R. (1992.): Australian Laboratory Handbook of Soil and Water Chemical Method. Reed International Books Australia P/L, Trading as Inkata Press. Melbourne.
26. Resulović, H., Čustović, H. (2002.): Pedologija. Univerzitet u Sarajevu. Sarajevo.

27. Soil Survey Division Staff (1993): Soil Survey Manual – Agricultural Handbook No. 18. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture.
28. Škorić, A. (1986.): Postanak, razvoj i sistematika tla. Fakultet poljoprivrednih znanosti Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb.
29. Škorić, A. (1991.): Sastav i svojstva tla. Fakultet poljoprivrednih znanosti Zagreb. Zagreb.
30. Škorić, A. (1992.): Priručnik za pedološka istraživanja. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet poljoprivrednih znanosti – Zagreb. Zagreb.
31. Tomašić, M., Zgorelec, Ž., Jurišić, A., Kisić, I. (2013.): Cation Exchange Capacity of Dominant soil Types in the Republic of Croatia. *Journal of Central European Agriculture*.14(3): 937-951
32. Vidaček, Ž., Bogunović, M., Bensa, A. (2004.): Aktualno stanje zaštite tla u Hrvatskoj. *Gazophylacium: časopis za znanost , umjetnost, gospodarstvo i politiku*. 9(3/4): 95-107.
33. Vukadinović, V., Bertić, B. (1989.): Praktikum iz agrokemije i ishrane bilja. Sveučilište u Osijeku, BTZNC, Poljoprivredni fakultet Osijek. Osijek.
34. Vukadinović, V., Rengel, Z. (2007.): Dynamics of sodium in saline and sodic soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 38 (2007), 15-16; 2077-2090
35. Vukadinović, V., Bertić, B., Jug, I., Jug, D., Đurđević, B., Kovačić, G., Tomljenović, K. (2010): Degradacija pedofizikalnih svojstava na alkalnim tlima. 3rd International Scientific/Professional Conference, Agriculture in Nature and Environment Protection, Vukovar, 31th May-02nd June 2010. 173-178,
36. Vukadinović, V., Vukadinović, V. (2011.): Ishrana bilja. Sveučilište J.J.Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet u Osijeku. Osijek.
37. Vukadinović, V. (2012.): Plodnost (produktivnost) tla. http://tlo-i-biljka.eu/Gnojidba/Plodnost_tla.pdf. 15.10.2018.
38. Vukadinović, V., Vukadinović, V., Đurđević, B., Jug, I., Jug, D., Bertić, B., Kujundžić, T., Stipešević, B. (2013): Koncentracija bakra u tlima vinogorja Baranja. U: Jug, I., Đurđević, B. (Eds), Proceedings & abstracts 6th International

scientific/professional conference, Agriculture in Nature and Environment Protection. Vukovar, 27th - 29th May 2013. Glas Slavonije d.d., Osijek. 141-146.

39. Vukadinović, V., Jug, D., Đurđević, B., Jug, I., Vukadinović, V., Stipešević, B., Lović, I., Kraljićak, Ž. (2013): Agricultural compaction of some soil types in eastern Croatia. In: Jug, I., Vukadinović, V., Đurđević, B. (Eds), Proceedings & Abstracts 2nd International Scientific Conference, Soil and Plant Management: Adaptation and Mitigation of Climate Changes. 26-28 September, 2013, Osijek. 38-45.

8. SAŽETAK

U radu je analiziran utjecaj kationa adsorpcijskog kompleksa na plodnost tala. Na području Slavonije i Baranje odabrano je 20 lokacija za 4 tipa tla (pseudoglej, luvisol, černoze i solonec). Uzorci iz oraničnih i podoraničnih slojeva prikupljeni su na terenu, a nakon laboratorijskih analiza određen je tip tla. Rezultati analiza pokazuju ekstremno do jako kiselu reakciju u pseudoglejima i luvisolima (pH-KCl 3,85 – 5,18; pH-H₂O 5,45 – 6,50), a u černozeima i solonecima slabo kiselu do vrlo jako alkalnu (pH-KCl 6,00 – 8,80; pH-H₂O 7,08 – 10,21). Veličina KIK-a ovisi o količini i tipu minerala gline i sadržaju organske tvari. Najniže vrijednosti su zabilježene u pseudoglejima i luvisolima (11,46 – 22,07 cmol(+) kg⁻¹), a najviše u černozeima (27,75 – 121,20 cmol(+) kg⁻¹). U tlima kisele reakcije koncentracija Ca²⁺ je niska, a udio H⁺ iona je 19,73 - 56,29 %. Uz Hk > cmol(+) kg⁻¹ potrebno je provesti kalcizaciju i rahljenje zbijenih podoraničnih slojeva pseudogleja. U sastavu AK soloneca koncentracija Ca²⁺ je ispod optimalne. Međutim, pH upućuje na visoke koncentracije Mg²⁺ (32,94 – 72,41 %) i Na⁺ (0,32 – 37,55 %). Plodnost ovih tala je vrlo niska, jer uslijed alkalizacije se pogoršavaju fizikalno-mehanička svojstva (struktura, konzistencija, čvrstoća). Obvezno je provesti mjere popravke unošenjem gipsa, snižavanjem razine podzemne vode i drenažom.

9. SUMMARY

The paper analyzes the influence of cation exchange complex on soil fertility. In the Slavonia and Baranja region, a sample of 4 types of soil (Stagnosols, Luvisols, Chernozems and Solonetz) at 20 different locations was selected. Samples from arable and subarable submarine layers were collected on the field, and after the laboratory analyzes the soil type was determined. The results of the analyzes show extreme to very acidic reaction in Stagnosols and Luvisols (pH-KCl 3.85-5.18, pH-H₂O 5.45-6.50). Poorly acidic to very alkaline reaction (pH-KCl 6.00 - 8.80, pH-H₂O 7.08 - 10.21) occurred in Chernozems and Solonetz. The size of KIK depends on the amount and the type of clay mineral and the content of organic matter. The lowest values were recorded in Stagnosol and Luvisols (11.46 - 22.07 cmol(+) kg⁻¹), and the highest in Chernozem (27.75 - 121.20 cmol(+) kg⁻¹). In acidic soils the Ca²⁺ concentration is low and the H⁺ ion content is 19.73-56.29%. With Hk > cmol(+) kg⁻¹ it is necessary to carry out the calcification and rupture of compressed underwater layers of Stagnosols. The Ca²⁺ in Solonetz is below optimum. However, the pH indicates high concentrations of Mg²⁺ (32.94-72.41%) and Na⁺ (0.32-37.55%). The fertility of these soils is very low, as the alkaline phenomena are aggravated by physical and mechanical properties (structure, consistency, strength). It is imperative to carry out repairs by placing plaster, lowering the groundwater level and draining.

10. PRILOZI

Prilog tablica 1. Statistički pokazatelji kemijskih i fizikalnih svojstava istraživanih tala u oraničnim slojevima (0 – 30 cm)

		pH-KCl	pH-H ₂ O	Humus %	AL-P ₂ O ₅ mg 100g ⁻¹	AL-K ₂ O mg 100g ⁻¹	Hk cmol(+) kg ⁻¹	CaCO ₃ %	KIK cmol(+) kg ⁻¹	P _b g cm ⁻³	P %
PSEUDOGLEJ	<i>n</i>	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	\bar{x}	4,27	5,71	2,10	0,72	13,18	5,81	-	15,53	1,48	43,15
	<i>min</i>	3,85	5,45	1,66	0,00	9,36	3,76	-	12,10	1,38	38,08
	<i>max</i>	4,87	5,94	2,67	1,40	17,97	8,31	-	20,05	1,61	46,92
	<i>SD</i>	0,46	0,23	0,43	0,58	3,59	2,06	-	3,08	0,09	3,54
	<i>CV</i>	0,11	0,04	0,20	0,80	0,27	0,35	-	0,20	0,06	0,08
LESIVIRANO	<i>n</i>	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	\bar{x}	4,86	6,05	2,04	4,16	14,34	3,23	-	14,29	1,43	45,00
	<i>min</i>	4,49	5,81	1,63	0,00	9,69	2,06	-	11,46	1,29	40,38
	<i>max</i>	5,18	6,27	2,47	13,40	16,44	4,03	-	17,65	1,55	50,38
	<i>SD</i>	0,25	0,17	0,36	5,29	2,93	0,87	-	2,71	0,10	3,76
	<i>CV</i>	0,05	0,03	0,18	1,27	0,20	0,27	-	0,19	0,07	0,08
ČERNOZEM	<i>n</i>	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	\bar{x}	7,32	8,17	2,23	35,66	27,71	-	5,44	58,17	1,45	44,39
	<i>min</i>	6,00	7,08	1,66	14,00	20,83	-	2,89	27,75	1,32	39,62
	<i>max</i>	7,73	8,50	2,64	97,30	32,38	-	7,41	96,28	1,57	49,23
	<i>SD</i>	0,75	0,61	0,39	34,74	4,86	-	2,17	29,95	0,10	3,97
	<i>CV</i>	0,10	0,08	0,18	0,97	0,18	-	0,40	0,51	0,07	0,09
SOLONEC	<i>n</i>	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	\bar{x}	6,61	8,24	1,84	19,62	22,96	-	3,49	21,06	1,55	39,35
	<i>min</i>	5,02	6,37	1,25	6,30	15,63	-	2,36	13,17	1,41	35,61
	<i>max</i>	8,05	9,76	2,51	32,10	30,58	-	4,73	32,91	1,66	44,12
	<i>SD</i>	1,40	1,69	0,59	10,90	6,32	-	1,00	8,29	0,09	3,29
	<i>CV</i>	0,21	0,20	0,32	0,56	0,28	-	0,29	0,39	0,06	0,08

Prilog tablica 2. Statistički pokazatelji kemijskih i fizikalnih svojstava istraživanih tala u podoraničnim slojevima (30 – 60 cm)

	pH-KCl	pH-H ₂ O	Humus %	AL-P ₂ O ₅ mg 100g ⁻¹	AL-K ₂ O mg 100g ⁻¹	Hk cmol(+) kg ⁻¹	CaCO ₃ %	KIK cmol(+) kg ⁻¹	Pb g cm ⁻³	P %
PSEUDGLEJ	<i>n</i>	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	\bar{x}	4,20	5,79	1,17	1,28	9,68	5,08	17,19	1,58	39,38
	<i>min</i>	3,91	5,60	0,81	0,00	7,14	2,89	13,96	1,46	35,38
	<i>max</i>	4,55	5,93	1,57	3,30	14,01	5,95	22,07	1,68	43,85
	<i>SD</i>	0,26	0,12	0,32	1,28	2,72	1,29	3,30	0,09	3,45
	<i>CV</i>	0,06	0,02	0,27	1,00	0,28	0,25	0,19	0,06	0,09
LESIVIRANO	<i>n</i>	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	\bar{x}	4,95	6,35	1,40	15,92	13,06	2,54	14,82	1,49	42,69
	<i>min</i>	4,66	6,24	1,20	2,60	11,37	1,78	11,71	1,37	38,85
	<i>max</i>	5,40	6,50	1,74	45,60	16,51	3,41	17,64	1,59	47,31
	<i>SD</i>	0,32	0,11	0,20	17,18	2,02	0,71	2,31	0,10	3,96
	<i>CV</i>	0,07	0,02	0,14	1,08	0,15	0,28	0,16	0,07	0,09
ČERNOZEM	<i>n</i>	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	\bar{x}	7,47	8,22	1,81	34,72	18,78	-	11,78	90,20	42,15
	<i>min</i>	6,34	7,12	1,68	2,30	15,83	-	4,96	39,64	35,77
	<i>max</i>	7,86	8,59	2,00	133,40	22,50	-	16,88	121,20	50,38
	<i>SD</i>	0,64	0,62	0,12	55,57	3,37	-	4,47	37,48	0,17
	<i>CV</i>	0,09	0,08	0,07	1,60	0,18	-	0,38	0,42	0,11
SOLONEC	<i>n</i>	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	\bar{x}	7,50	8,87	0,88	13,88	16,83	-	21,10	22,66	40,86
	<i>min</i>	5,29	6,75	0,76	1,90	11,10	-	1,47	17,51	38,08
	<i>max</i>	8,80	10,21	1,19	25,30	27,97	-	37,39	31,20	45,08
	<i>SD</i>	1,58	1,68	0,18	9,66	7,38	-	17,94	5,36	0,07
	<i>CV</i>	0,21	0,19	0,20	0,70	0,44	-	0,85	0,24	0,05

11. POPIS TABLICA

Tablica 1. Kemijska svojstva pseudogleja i luvisola

Tablica 2. Kemijska svojstva černozema i soloneca

Tablica 3. Fizikalna svojstva pseudogleja i luvisola

Tablica 4. Fizikalna svojstva černozema i soloneca

12. POPIS SLIKA

Slika 1. Teksturni trokut (Izvor:

https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167)

13. POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Sastav adsorpcijskog kompleksa pseudogleja i luvisola na 0 – 30 cm dubine

Grafikon 2. Sastav adsorpcijskog kompleksa pseudogleja i luvisola na 30 - 60 cm dubine

Grafikon 3. Sastav adsorpcijskog kompleksa černoze i soloneca na 0 - 30 cm dubine

Grafikon 4. Sastav adsorpcijskog kompleksa černoze i soloneca na 30 - 60 cm dubine

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
Sveučilišni diplomski studij Bilinogojstvo, smjer Biljna proizvodnja

Diplomski rad

Uloga izmjenjivih kationa u očuvanju plodnosti tla

Marija Kuveždić

Sažetak

U radu je analiziran utjecaj kationa adsorpcijskog kompleksa na plodnost tala. Na području Slavonije i Baranje odabrano je 20 lokacija za 4 tipa tla (pseudoglej, luvisol, černozem i solonec). Uzorci iz oraničnih i podoraničnih slojeva prikupljeni su na terenu, a nakon laboratorijskih analiza određen je tip tla. Rezultati analiza pokazuju ekstremno do jako kiselu reakciju u pseudoglejima i luvisolima (pH-KCl 3,85 – 5,18; pH-H₂O 5,45 – 6,50), a u černozemima i solonecima slabo kiselo do vrlo jako alkalnu (pH-KCl 6,00 – 8,80; pH-H₂O 7,08 – 10,21). Veličina KIK-a ovisi o količini i tipu minerala gline i sadržaju organske tvari. Najniže vrijednosti su zabilježene u pseudoglejima i luvisolima (11,46 – 22,07 cmol(+) kg⁻¹), a najviše u černozemima (27,75 – 121,20 cmol(+) kg⁻¹). U tlima kisele reakcije koncentracija Ca²⁺ je niska, a udio H⁺ iona je 19,73 - 56,29 %. Uz Hk > cmol(+) kg⁻¹ potrebno je provesti kalcizaciju i rahljenje zbijenih podoraničnih slojeva pseudogleja. U sastavu AK soloneca koncentracija Ca²⁺ je ispod optimalne. Međutim, pH upućuje na visoke koncentracije Mg²⁺ (32,94 – 72,41 %) i Na⁺ (0,32 – 37,55 %). Plodnost ovih tala je vrlo niska, jer uslijed alkalizacije se pogoršavaju fizikalno-mehanička svojstva (struktura, konzistencija, čvrstoća). Obvezno je provesti mjere popravke unošenjem gipsa, snižavanjem razine podzemne vode i drenažom.

Rad je izrađen pri: Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Mentor: prof. dr. sc. Vesna Vukadinović

Broj stranica: 40

Broj grafikona i slika: 5

Broj tablica: 6

Broj literaturnih navoda: 39

Broj priloga: 2

Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi:

Adsorpcijski kompleks tla, alkalizacija, pseudoglej, luvisol, černozem, solonec

Datum obrane:

Stručno povjerenstvo za obranu:

1. prof. dr. sc. Irena Jug, predsjednik
2. prof. dr. sc. Vesna Vukadinović, mentor
3. prof. dr. sc. Danijel Jug, član

Rad je pohranjen u: Knjižnica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Vladimira Preloga 1.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek

Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

University Graduate Studies, Plant production, course Plant production

Graduate thesis

The role of exchangeable cations in preservation of soil fertility

Marija Kuveždić

Abstract:

The paper analyzes the influence of cation exchange complex on soil fertility. In the Slavonia and Baranja region, a sample of 4 types of soil (Stagnosols, Luvisols, Chernozems and Solonetz) at 20 different locations was selected. Samples from arable and subarable submarine layers were collected on the field, and after the laboratory analyzes the soil type was determined. The results of the analyzes show extreme to very acidic reaction in Stagnosols and Luvisols (pH-KCl 3.85-5.18, pH-H₂O 5.45-6.50). Poorly acidic to very alkaline reaction (pH-KCl 6.00 - 8.80, pH-H₂O 7.08 - 10.21) occurred in Chernozems and Solonetz. The size of KIK depends on the amount and the type of clay mineral and the content of organic matter. The lowest values were recorded in Stagnosol and Luvisols (11.46 - 22.07 cmol(+) kg⁻¹), and the highest in Chernozem (27.75 - 121.20 cmol(+) kg⁻¹). In acidic soils the Ca²⁺ concentration is low and the H⁺ ion content is 19.73-56.29%. With Hk > cmol(+) kg⁻¹ it is necessary to carry out the calcification and rupture of compressed underwater layers of Stagnosols. The Ca²⁺ in Solonetz is below optimum. However, the pH indicates high concentrations of Mg²⁺ (32.94-72.41%) and Na⁺ (0.32-37.55%). The fertility of these soils is very low, as the alkaline phenomena are aggravated by physical and mechanical properties (structure, consistency, strength). It is imperative to carry out repairs by placing plaster, lowering the groundwater level and draining.

Thesis performed at: Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

Mentor: Prof. Vesna Vukadinović, PhD

Number of pages: 40

Number of figures: 5

Number of tables: 6

Number of references: 39

Number of appendices: 2

Original in: Croatian

Key words:

Cation exchange capacity, alkalization, Stagnosols, Luvisols, Chernozems, Solonetz

Thesis defended on date:

Reviewers:

1. Prof. Irena Jug, PhD, chairman
2. Prof. Vesna Vukadinović, PhD, mentor
3. Prof. Danijel Jug, PhD, member

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